



**Relatório Final do Projeto APQ-03773/14:  
Síntese Multidisciplinar Integrada**

**Título: “SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PANDEIROS-MG:  
Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros”**

Edital de Referência: 13/2014 – Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros

**Belo Horizonte, 2020.**

## **Relatório Final do Projeto APQ-03773/14:**

### **Síntese Multidisciplinar Integrada**

SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PANDEIROS-MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros.

Este Relatório Final de Síntese Multidisciplinar Integrada abrange as atividades desenvolvidas durante todo o projeto. As informações antecedentes, e complementares a esse relatório, estão descritas nas quatro prestações de contas científicas parciais anteriores.

#### **Autores deste relatório**

**Dr. Jefferson Vianna Bandeira**

Coordenador do Projeto e do Subprojeto 2 – CNEN/CDTN

**Profa. Dra. Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin**

Coordenadora do Subprojeto 1a – IGC/UFMG

**Prof. Dr. Carlos Henrique Jardim**

Coordenador do Subprojeto 1b – IGC/UFMG

**Profa. Dra. Adriana Monteiro da Costa**

Coordenadora do Subprojeto 1c – IGC/UFMG

**MSc. Lécio Hannas Salim**

CNEN/CDTN

**MSc. Cláudio José Chagas**

CNEN/CDTN

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. DESCRIÇÃO DO PROJETO E RESUMO DE RESULTADOS.....	4
2.1. Subprojeto 1a - Identificação e análise dos processos erosivos e de seus fatores causais nas zonas de cabeceira, de voçorocamento e nas zonas de assoreamento da bacia do Rio Pandeiros, MG e possíveis contenções.....	6
2.1.1. Características da dinâmica das encostas.....	6
2.1.2. Síntese dos Resultados da Análise dos Processos Erosivos na Bacia.....	25
2.1.2.1. Dinâmica geomorfológica de longo prazo ( <i>long term</i> ).....	25
2.1.2.2. Dinâmica atual (processos erosivos atuais).....	26
2.1.2.3. Principais áreas de ocorrência dos processos erosivos.....	27
2.2. Subprojeto 1b - Diagnóstico climático na bacia do Rio Pandeiros.....	31
2.3. Subprojeto 1c - Uso e ocupação dos solos na bacia do Rio Pandeiros.....	34
2.4. Subprojeto 2 - Caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros.....	37
3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES MULTIDISCIPLINARES.....	43
3.1. Subprojeto 1a.....	43
3.1.1. Recomendação de medidas mitigadoras, de contenção e de recuperação da bacia.....	43
3.1.1.1. Síntese dos processos erosivos.....	43
3.1.1.2. Recomendações.....	44
3.2. Subprojeto 1b.....	45
3.3. Subprojeto 1c.....	46
3.4. Subprojeto 2.....	48
4. RESUMO GERAL E RECOMENDAÇÕES INTEGRADAS.....	50
4.1. Resumo geral.....	50
4.2. Recomendações integradas.....	57
4.2.1. Recomendações para a contenção e mitigação da erosão.....	57
4.2.2. Recomendações para ampliação do conhecimento sobre a bacia e monitoramento.....	58
4.2.3. Recomendações sobre a PCH Pandeiros.....	59
4.3. Considerações finais.....	61
ANEXOS.....	63
Anexo I - Publicações.....	63
Anexo II – Produção Acadêmica.....	68
Anexo III - Transferência de tecnologia.....	70

## **1. INTRODUÇÃO**

O projeto de pesquisa foi apresentado em 08 de maio de 2014, teve o seu termo de outorga assinado pela FAPEMIG em 03 de dezembro de 2014, após um corte inicial de cerca de 10% no valor solicitado (Projeto APQ-03773/14). A liberação dos recursos, que totalizaram R\$ 1.089.267,59, foi somente efetivada em 12 de junho de 2015.

No entanto, em 12 de janeiro de 2016 foi publicada a Lei Federal nº 13.243/2016, denominada como o "Novo Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação". A nova Lei alterou uma série de dispositivos legais relacionados à área, que contribuiu para novo atraso na compra dos equipamentos importados.

Tais entraves fizeram com que algumas tarefas se atrasassem, mas outras que não dependiam de equipamentos importados foram executadas.

Somente a partir de dezembro de 2016 o projeto teve andamento normal, com a chegada, instalação e operação de todos os equipamentos adquiridos. O projeto se encerrou em 02 de janeiro de 2020.

## **2. DESCRIÇÃO DO PROJETO E RESUMO DE RESULTADOS**

A Bacia do Rio Pandeiros, em sua totalidade, é uma área de proteção ambiental (APA). Os vários projetos nela desenvolvidos, sob a égide do projeto: “Sustentabilidade Ambiental da Bacia do Rio Pandeiros – MG” visaram colher subsídios para uma gestão adequada dessa região, incluindo a importante questão da preservação ambiental do Pantanal do Rio Pandeiros, localizado no trecho inferior do rio, junto à sua foz, na margem esquerda do Rio São Francisco.

Assim, o atual projeto: “Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros” foi concebido para atuar em toda a bacia hidrográfica, portanto em uma visão holística, com uma abordagem multidisciplinar e integrada.

Desta forma o projeto foi dividido em dois subprojetos, sendo que o Subprojeto 1 ficou a cargo do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG), sendo subdividido em três partes: 1a, 1b e 1c:

- Subprojeto 1a - Identificação e análise dos processos erosivos e de seus fatores causais nas zonas de cabeceira, de voçorocamento e nas zonas de assoreamento da bacia do Rio Pandeiros, MG e possíveis contenções;

- Subprojeto 1b - Diagnóstico Climático na Bacia do Rio Pandeiros;
- Subprojeto 1c - Uso e Ocupação dos Solos na Bacia do Rio Pandeiros.

O subprojeto 2 ficou a cargo do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN) e do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG): – Campus Januária

- Caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros.

Como a quantidade de informação obtida nas várias disciplinas abordadas na execução do projeto é muito grande, e para manter a individualidade de cada disciplina, optou-se por apresentar os relatórios finais de cada subprojeto separadamente, em arquivos eletrônicos distintos, que são identificados no presente capítulo e também são apresentados resumos de resultados.

Foi feita uma consistência das informações multidisciplinares obtidas, bem como suas recomendações individuais dos diversos relatórios dos subprojetos, que são abordadas no Capítulo 3. No Capítulo 4 são apresentadas recomendações integradas, resultantes da interação das diversas disciplinas contempladas nos quatro subprojetos. Os anexos trazem uma lista de publicações, a produção acadêmica e a descrição das atividades de transferência de tecnologia.

**2.1. Subprojeto 1a** - Identificação e análise dos processos erosivos e de seus fatores causais nas zonas de cabeceira, de voçorocamento e nas zonas de assoreamento da bacia do Rio Pandeiros, MG e possíveis contenções.

O Relatório Final do Subprojeto 1a se encontra no arquivo: “**RELATORIO-FINAL-(Subproj.1a)-GEOMORFOLOGIA.pdf**”, de 206 páginas, carregado juntamente com o presente Relatório Final de Síntese Multidisciplinar, no Sistema Everest da FAPEMIG.

## **RESUMO DE RESULTADOS**

### **2.1.1. Características da dinâmica das encostas**

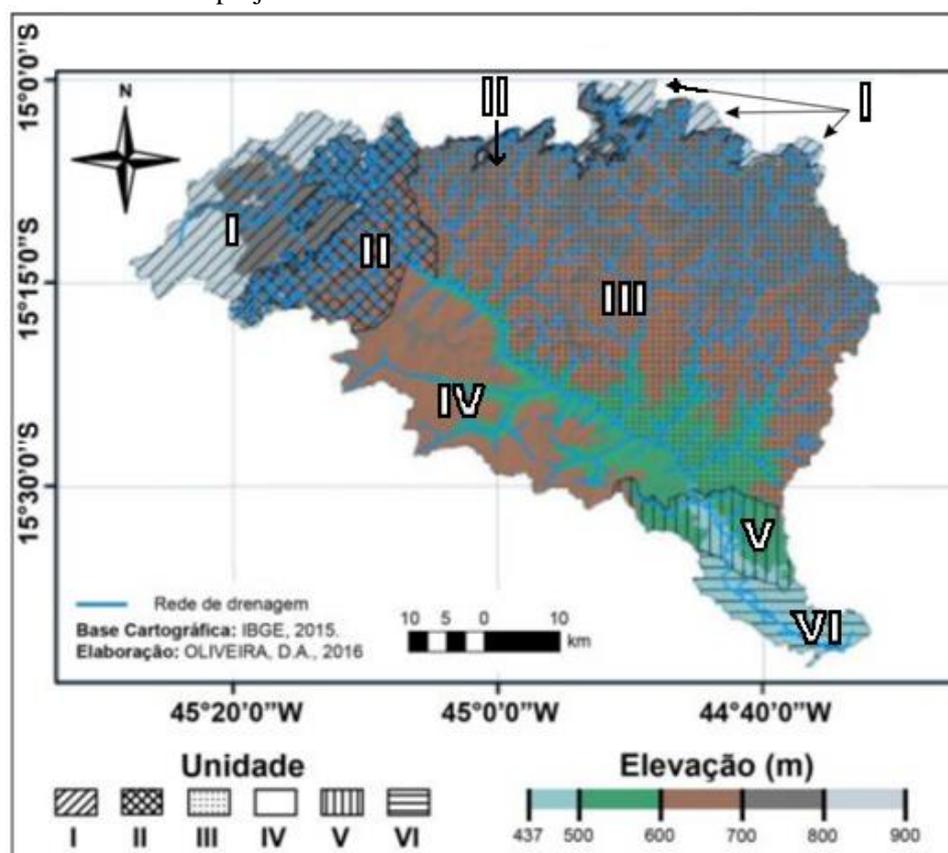
As pesquisas conduzidas por diversos participantes do Subprojeto 1a possibilitaram realizar interpretações abrangentes sobre o meio ambiente físico da bacia, permitindo estabelecer a relação de causa e efeito entre os componentes do relevo e os processos erosivos atuantes na bacia do Rio Pandeiros.

A interação dos fatores do meio natural, em especial o relevo, é responsável pela diversificação dos ambientes naturais e, portanto, dos ecossistemas. A influência das formas do modelado sobre a dinâmica de funcionamento da água de escoamento superficial (*runoff*) e subsuperficial, por sua vez, responde pela ocorrência, tipo e densidade dos processos erosivos. Por isto, a identificação e compreensão das características do relevo bem como dos processos atuantes, dão suporte à proposição do uso racional e inteligente dos recursos naturais, de modo a otimizar os ganhos e minimizar as perdas derivadas dos impactos negativos associados aos usos e transformações do meio ambiente.

Um dos mais importantes resultados das análises do Subprojeto 1a pode ser sumarizado na identificação das Unidades Geomorfológicas, representadas no *Mapa de Domínios Geomorfológicos* (Fig. 1). Este mapa, na escala de 1:100.000, cobre toda a área da bacia e representa uma síntese dos dados e características dos padrões das formas de relevo/regolitos/geologia e drenagem, contidos nos mapas de Hipsometria, Declividade, Índice de Concentração de Rugosidade, Índice de Hack, de *Knickpoints*, Orientação das Vertentes e de outros trabalhos de detalhe conduzidos na bacia. O agrupamento em grandes unidades geomorfológicas da bacia, também permite identificar as características de cada grande padrão, que é resultante da interação entre elementos da geologia, do clima, solo e do próprio relevo e dos seus processos de esculturação ao longo do tempo geológico, bem como dos processos erosivos nelas atuantes.

**Chapada das Gerais (Unidade Geomorfológica I)** constitui um relevo plano a levemente ondulado ( $0-2^\circ$ ), típico de chapada, presente em todos os limites NW, N e NE da bacia (Fig. 1). Seu substrato é composto por rochas sedimentares com camadas horizontalizadas da Formação (Fm) Serra das Araras, do topo do Grupo Urucuia, do Cretáceo Superior. Esses arenitos foram submetidos, ao longo do tempo geológico, ao intemperismo químico e físico, formando uma espessa cobertura elúvio-coluvionar avermelhada, rica em ferro, que, segundo os Mapas da CODEMIG-UFMG (2015), pode atingir até 15 m de espessura. Estas rochas, no entanto, podem aflorar nas bordas da Chapada (Augustin et al., 2020a).

Figura 1 - Mapa dos Domínios Geomorfológicos da bacia do Rio Pandeiros - MG resultantes das principais interações entre o substrato rochoso, o clima e o próprio relevo, gerando os processos de encostas e fluviais com influência sobre a dinâmica da bacia. Serviu de base para as análises temáticas de todos os trabalhos do Subprojeto 1a.



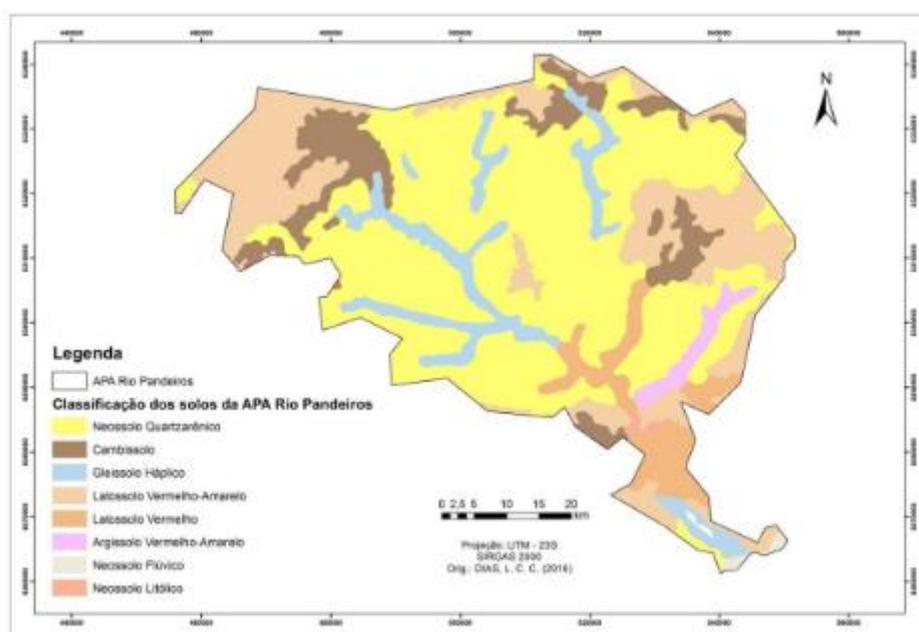
Fontes: Oliveira et al., 2017; Augustin et al., 2020a.

Características do substrato rochoso (laterizado e rico em quartzo), do clima (mais quente e úmido) e do relevo, relativamente plano e, portanto, pouco dissecado (baixos valores de Índice de Concentração da Rugosidade-ICR), mesmo que topograficamente mais elevados (756-858 m), também atuaram no sentido de induzir a infiltração da água de chuva, contribuindo para o desenvolvimento dos Latossolos Vermelho-Amarelos (DIAS, 2017), segundo Classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), predominantes na área (Fig.

2). Esses são solos bem desenvolvidos, avermelhados em função da oxidação do ferro do regolito, com argilas do tipo 1:1 (caulinita), resultantes de intenso intemperismo do material rochoso (LIMA et al., 2019).

Apresenta duas outras características associadas ao arenito do substrato e à disponibilidade de água (Relatório Final Subprojeto 1a, FAPEMIG, 2020), influenciada pelo relevo plano: acidez elevada (pH 4), alto teor de alumina e baixo de cátions trocáveis (Ca, Mg e K).

Figura 2 - Mapa de solos da bacia do Rio Pandeiros.



Fonte: Dias (2017).

Embora o relevo plano a levemente ondulado e a rápida infiltração da água de chuva permitam a mecanização agrícola, a composição predominantemente quartzosa dos solos (70-78%), a deficiência em bases trocáveis e a presença de áreas mais laterizadas, inclusive com afloramento de rochas da Formação Serra das Araras (AUGUSTIN et al., 2020a), podem ser aspectos limitadores de uma plena utilização agrícola destes solos, em especial com técnicas de pivô central, como tem sido utilizado na região. Especialmente nesta área mais elevada, os níveis freáticos encontram-se rebaixados, com captação de água abaixo dos 180 m.

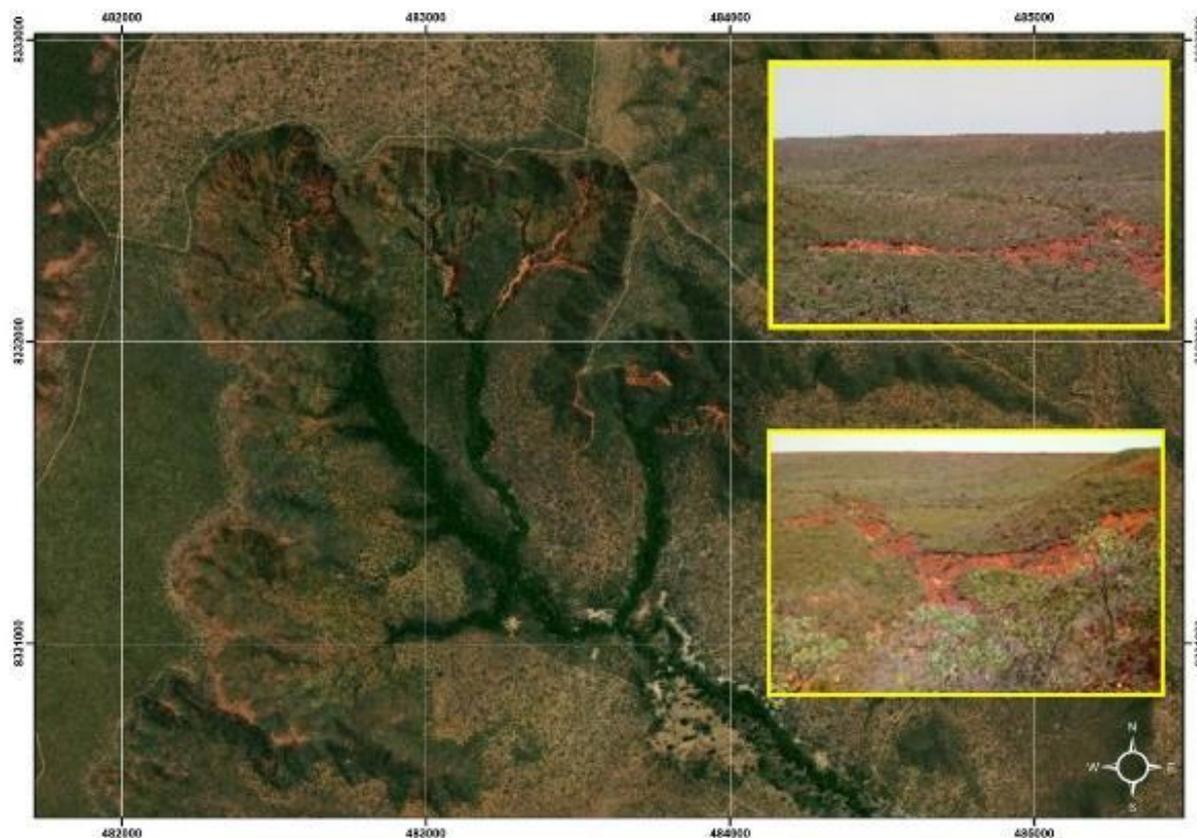
A alternativa atual do uso da terra nesta área da bacia tem sido a pecuária, o que tende a induzir às baixas taxas de infiltração da água de escoamento superficial da chuva (*runoff*), por causa da retirada quase total da cobertura vegetal natural para dar lugar à pastagem natural, ou à melhorada, levando à compactação do solo pelo uso de mecanização e do próprio pisoteio do gado. A agropecuária, da maneira como é realizada tem levado ao aumento de estradas vicinais,

caminhos e trilhas de animais, o que, segundo Lima et al. (2019), constitui um dos fatores de voçorocamento nessas áreas.

Contudo, o relevo plano e a textura do regolito destas áreas de Chapada, favoreceram, em longo prazo, uma efetiva recarga dos níveis freáticos, o que é atestado pelo grande número de cursos de água com nascentes na Unidade geomorfológica II, das Escarpas (Figuras 2 e 3).

**Escarpas NW, N, NE (Unidade Geomorfológica II)** estão localizadas logo abaixo da borda da Chapada e como esta, contorna os limites da bacia com aquelas dos rios vizinhos: a noroeste, com a do Carinhanha; a norte, com o rio Cochá a nordeste, com a do Peruaçu (Fig. 1), formadas ainda sobre rochas sedimentares areníticas da Fm Serra das Araras. Constitui a segunda área mais elevada da bacia e a primeira quanto às declividades acentuadas, podendo atingir, em alguns pontos, a mais de 56° de inclinação. Elas abrigam grande parte das nascentes da bacia, entre elas a do ribeirão Pandeiros, muitas tendo início onde a erosão a remontante intercepta o nível freático. Em função da declividade acentuada e a ocorrência de grandes rupturas de declive, são áreas muito susceptíveis à erosão, em especial ao voçorocamento (LIMA et al., 2019). Em função do grande número de nascentes de rios da margem esquerda do Rio Pandeiros, conta com um número elevado de anfiteatros (Figuras 3 e 4). Anfiteatros são feições geomorfológicas em formato de semicírculos ou quase círculos, que se desenvolvem naturalmente em áreas de nascentes por causa da convergência dos canais de drenagem de primeira e segunda ordem para um mesmo ponto (Figuras 3 e 4). Eles são comuns em áreas de substratos de rochas sedimentares, como os das Escarpas, onde evoluem pela atuação de processo geomorfológico denominado de *sapping*, um processo de solapamento da base da escarpa na zona de cabeceira causando deslizamentos e a retração da mesma, mantendo o desnível. Ao deslizar, o material perde a coesão e se deposita abaixo da zona de ruptura de declive, onde tende a se acumular. Sem interferência antrópica, o afunilamento na base do anfiteatro (Fig. 3) é suficiente para impedir uma rápida retirada deste material proveniente da erosão por *sapping*. Isto porque logo que é depositado, o colúvio passa a ser coberto por vegetação, o que aumenta a sua coesão e favorece a fixação nas vertentes, impedindo sua rápida mobilização e transporte pelo escoamento superficial. Quando sofre interferência antrópica, tem início incisão de canal pela água concentrada (enxurrada) que logo se transforma em canal permanente, ou seja, uma voçoroca, através da qual o material é mobilizado e entra no sistema hídrico (Fig. 4).

Figura 3 - Anfiteatros na Escarpa NW da bacia, mostrando o material depositado e acumulado, proveniente da erosão por solapamento (*sapping*) que causa deslizamentos.



Fonte: Augustin et al., 2020c.

É importante lembrar que os processos erosivos, em si, são naturais e responsáveis pela elaboração e evolução do relevo, bem como pela diversificação de ambientes naturais para os ecossistemas. Eles passam a ser um fator negativo ao meio ambiente, quando causam desequilíbrio nas interações entre os diversos fatores que compõem o meio biofísico de uma área. É o que se verifica nesses anfiteatros da Unidade II (Figuras 1 e 3), com ocupação para fins agropecuários e o uso de práticas agrícolas nem sempre são realizadas segundo objetivos de conservação (Fig. 3). Eles provocam, inicialmente, uma mudança de nível de base dos canais, criando desníveis e acelerando a retirada dos sedimentos coluviais disponibilizando-os para o transporte pelos cursos de água em quantidades acima da capacidade dos mesmos em carregá-los, causando deposição e assoreamento, como pode ser visto na imagem Google Earth (Fig. 4).

Figura 4 - Áreas de ocorrência de anfiteatros associados ao tipo de nascentes em área com rochas sedimentares com pouca inclinação (círculos). É possível observar áreas de acumulação dos sedimentos lançados nos cursos de água (setas).



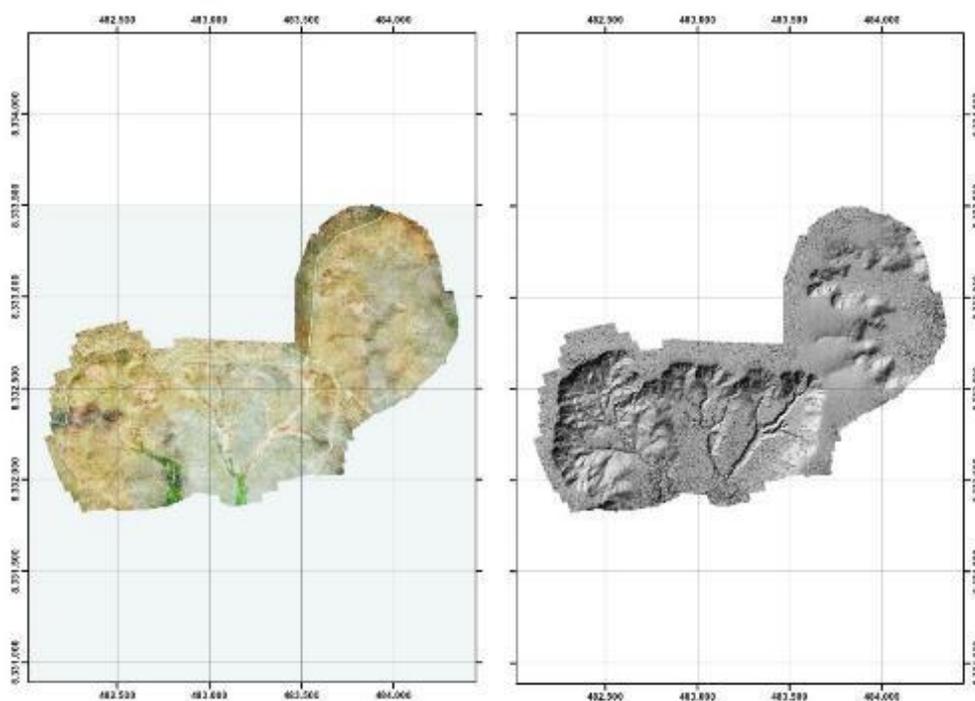
Fonte: Augustin et al., 2020c.

Do total das sete áreas mapeadas na Etapa 2 (Relatório Final, Subprojeto 1a, FAPEMIG, 2020), apenas uma área (área 7), como pode ser vista no mapa (Fig. 5), não está localizada nesta Unidade Geomorfológica. As seis restantes, ocorrem na Escarpa NW, ocupando aproximadamente 42 dos 584,41 ha, ou seja, 7,19 % da área total mapeada na Etapa 2.

Da mesma maneira, do total de 9 voçorocas mapeadas na Etapa 1, sete ocorrem na Unidade das Escarpas NW, totalizando uma perda de 489.613,80 m<sup>3</sup>, volume este muito aquém do acumulado nos anfiteatros (Figuras 2, 4, 5). Essas formas, como mostrado na figura 3, referente à área 1, localizada na UG II, da Escarpa NW, também mapeadas com o drone na etapa 2 do projeto (Fig. 5), revelam o potencial erosivo de assoreamento desse material acumulado.

Sem a adoção de medidas de proteção, os sedimentos tendem a ser mobilizados, passando a ser transportados pelos canais fluviais, levando ao aumento do assoreamento (Figuras 3, 4 e 5). Para minimizar os efeitos do *sapping*, também é necessária a proteção de toda a área das Escarpas com especial atenção para os anfiteatros e a orientação de práticas agrícolas compatíveis com a proteção ambiental, mesmo em se tratando de agricultura de subsistência.

Figura 5 - Imagem do mapeamento com o drone mostrando a área 1, da Etapa 2, na qual se destaca a forma de anfiteatro onde os sedimentos tendem naturalmente a se acumular.



Fonte: Relatório Final Subprojeto 1a, FAPEMIG, 2020.

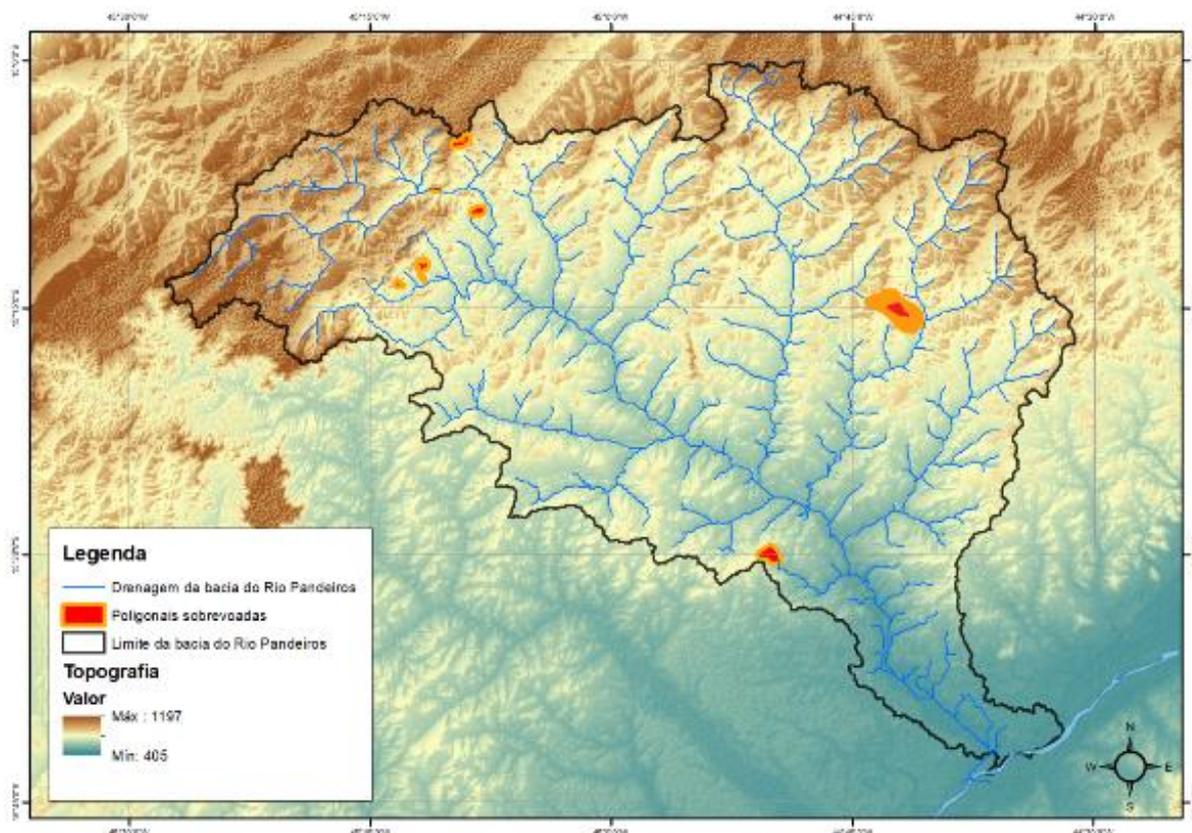
Na bacia do Pandeiros, as voçorocas tendem a se agrupar (Fig. 6), concentradas em especial na Escarpa NW, embora também ocorram em outras áreas: a) ao longo da porção média do córrego Borrachudo, principalmente a nordeste de Bonito de Minas, mas também em seus interflúvios com o riacho Grumicha, afluente da margem esquerda do córrego Catolé; b) na Vereda Alegre; c) e no córrego Mandim. As regiões do Catolé/Borrachudo têm em comum a interface das rochas areníticas do Grupo Urucuaia com as carbonáticas do Bambuí e as do complexo granítico do embasamento cristalino, estas últimas muito propensas aos processos de voçorocamento. Na figura 6 encontram-se plotadas as áreas com maior concentração dessas formas de erosão acelerada.

Por tratar-se de áreas com declividades acentuadas, vertentes curtas, que favorecem os processos erosivos, e com substrato arenoso, as Escarpas têm solos relativamente pouco espessos, muito drenados, com textura predominantemente arenosa, formando Cambissolos, que são solos mais jovens e rasos, em decorrência do fato de serem submetidos à erosão mais intensa nas vertentes onde correm (Figuras 1, 2 e 6).

Como apontado por Augustin et al., (2020b), a área de Escarpas não é homogênea do ponto de vista geomorfológico. Por causa da influência de variações mineralógicas e estruturais (ex:

espessuras) das fácies da Fm Serra das Araras, esta Unidade apresenta áreas mais planas, onde os cursos de água tendem a depositar sedimentos, ao invés de erodir.

Figura 6 - Mapeamento das áreas com voçorocamento na Etapa 2, mostrando que estas se encontram localizadas em agrupamentos, sendo que o de maior frequência de voçorocas é da região das nascentes do Rio Pandeiros, na Área da Escarpa 1.

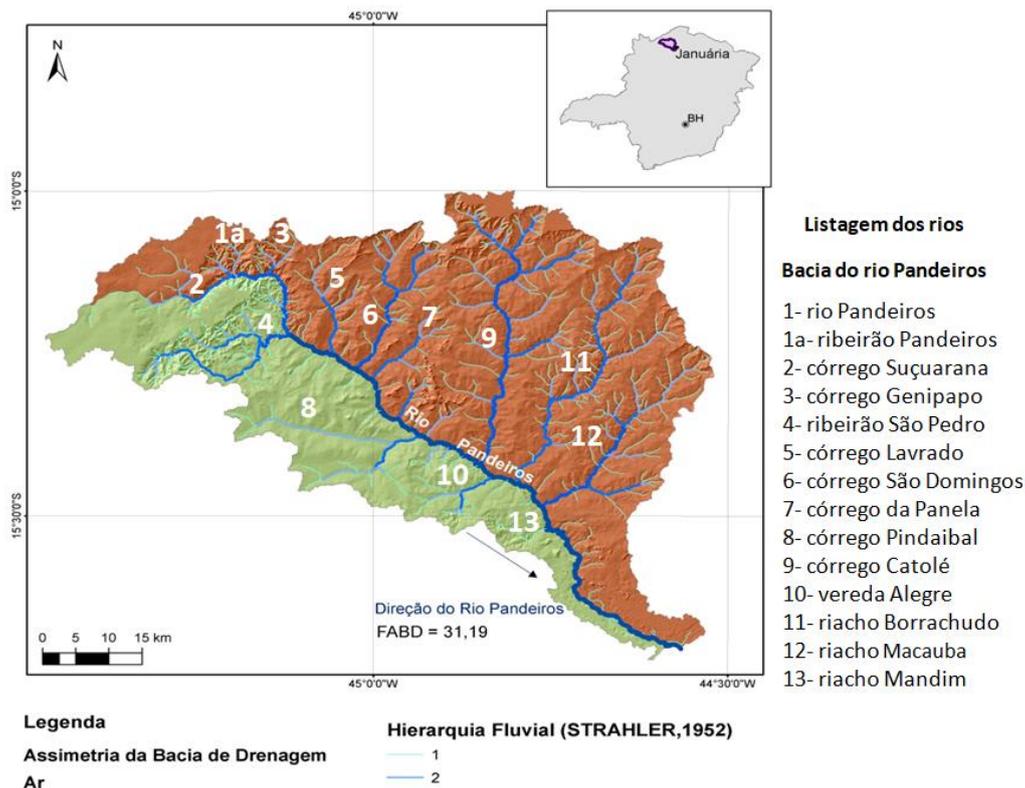


Fontes: Relatório Final Subprojeto 1a, FAPEMIG, 2020; Augustin et al., 2020d.

Nessas áreas mais planas, ocorrem solos mais argilosos, em função da variação mineralógica do substrato que permitem atividades de cultivo, em especial de pequena escala, embora continuem sendo, na maioria, Cambissolos (Figuras 1 e 2).

**Vertentes Longas (Unidade Geomorfológica III)** corresponde a todo o lado esquerdo da bacia do Rio Pandeiros e, como o próprio nome indica, apresenta canais e interflúvios longos (Figuras 1 e 7). O índice de assimetria calculado seguindo técnica proposta por Hale e Gardner (1985), indica um fator de assimetria (FA) de 31,19 para a bacia (AUGUSTIN et al., 2020c), o que significa: 1- a presença de uma assimetria; 2- a assimetria é da margem esquerda, de acordo com Hale e Gardner, que teria sido provocada por basculamento, de origem tectônica. Isto teria causado sua maior inclinação, aumentando a declividade (Fig. 7).

Figura 7 – Assimetria da drenagem da bacia do Rio Pandeiros.



Fonte: Augustin et al, 2020c.

Contudo, os estudos realizados na bacia, bem como os mapas geológicos gerados pela CODEMIG-UFMG (2015), não apontam evidências para esta interpretação, pelo menos a de esta tenha ocorrido depois da deposição dos sedimentos que deram origem às rochas do Grupo Urucuia. As camadas horizontalizadas do Grupo Urucuia apresentam a mesma inclinação e concordância estratigráfica de um lado e outro da bacia.

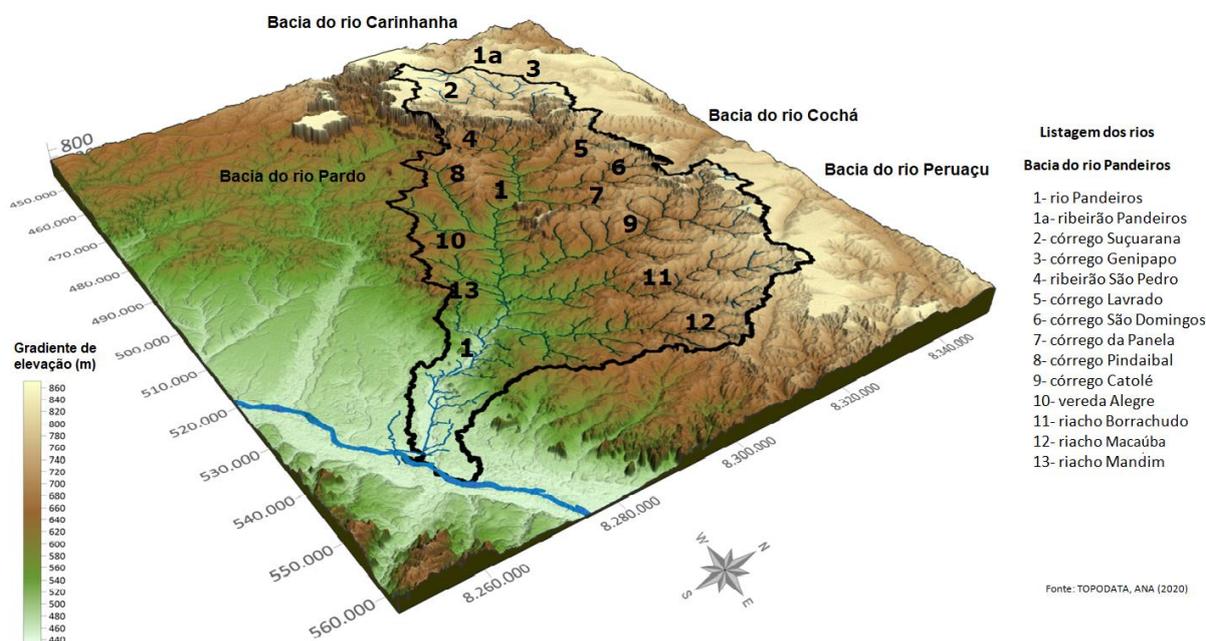
Segundo Augustin et al. (2020c), outra possibilidade apontada pela literatura para explicar a assimetria também não tem base nas evidências climáticas atuais da bacia, e nem nas paleoclimáticas, que é o efeito da variação na incidência da radiação solar de um lado e outro da bacia, ou de lados opostos de um mesmo canal fluvial. Isto provocaria respostas diferenciadas de vários elementos das vertentes, desencadeadas pela variação dos índices de evapotranspiração, ou de acumulação de neve, de um lado e outro da drenagem, efeito este denominado de “*aspect*”. Ele é comum em regiões de latitude média, em especial no hemisfério norte, chegando a determinar a evolução e o desenvolvimento diferenciado das vertentes, do solo e da cobertura vegetal, criando este efeito de assimetria. A localização da bacia do Rio Pandeiros muito próxima da linha do Equador (em torno de 15° de latitude S), com variações mínimas de índices de evapotranspiração, não dá suporte a esta interpretação.

A conjunção de fatores geomorfológicos associados à evolução da calha do Rio Pandeiros ao longo do seu eixo longitudinal, que em seu baixo curso ocupou inicialmente uma falha extensional normal SE/NW, a qual seu leito ocupa até hoje, e a ocorrência, de área topograficamente mais elevada desde o Paleoproterozóico (Alto Estrutural de Januária), levou o rio a se ajustar mais à direita. Isto provocou, originalmente, um desnível mais acentuado na margem esquerda. A presença das rochas do Grupo Urucuia, boas retentoras de água, favoreceu a ocorrência de muitas nascentes do lado esquerdo, que à medida que foram recuando, criaram interflúvios também mais longos, aumentando a área deste lado da bacia (Fig. 7). Portanto, a presença de um paleorelevo (do Alto Estrutural de Januária) na porção esquerda da bacia, não só dificultou a deposição de rochas do Grupo Bambuí na área e o adelgaçamento das camadas das formações das rochas do Grupo Urucuia, como influenciou as formas do modelado atual, como é o caso da assimetria, que tem efeitos sobre a estrutura da rede de drenagem, vazão e transporte de sedimentos ao longo da bacia (AUGUSTIN, et al., 2020c).

Relevos testemunhos encontrados na porção do meio curso do Rio Pandeiros, como é o caso do complexo da Serra da Mescla (Fig. 8), indicam que o domínio das rochas da Fm Serra das Araras era maior do que o atual. O resultado concreto dessa dinâmica erosiva de retirada das rochas desta formação é a exposição de grande extensão espacial das rochas areníticas da Fm Posse, da base do Grupo Urucuia. Elas são provenientes de dunas formadas em condições climáticas muito áridas no Cretáceo Superior, (AUGUSTIN et al., 2020a, 2020b) o que tem implicações em várias características físicas da Unidade Geomorfológica III.

A intensa erosão das camadas superiores das rochas do Grupo Urucuia, depositadas diretamente sobre as rochas granito-gnáissicas do embasamento cristalino, provocou a exposição destas últimas em fundos de alguns vales, em especial no médio curso do córrego Catolé e do riacho Borrachudo. No baixo curso do Borrachudo, bem como ao longo de todo o riacho Macaúba, afloram também rochas carbonáticas/pelíticas do Grupo Bambuí. Todos estes afloramentos têm implicações locais no relevo, tipos de solos e cobertura vegetal presentes. A estruturação da rede de drenagem possibilitou a articulação dos canais fluviais ao longo do Rio Pandeiros, tendo este como nível de base, levando à remoção de parte considerável das rochas do Grupo Urucuia existentes na bacia (Fig. 8). Nessa Unidade, do ponto de vista geomorfológico, o mais significativo aspecto é o fato da erosão ter retirado as rochas sedimentares da Fm Serra das Araras, expondo as rochas da Fm Posse, sobre as quais a maior parte do relevo de hoje encontra-se modelado.

Figura 8 - Drenagem do Rio Pandeiros mostrando a assimetria da bacia.

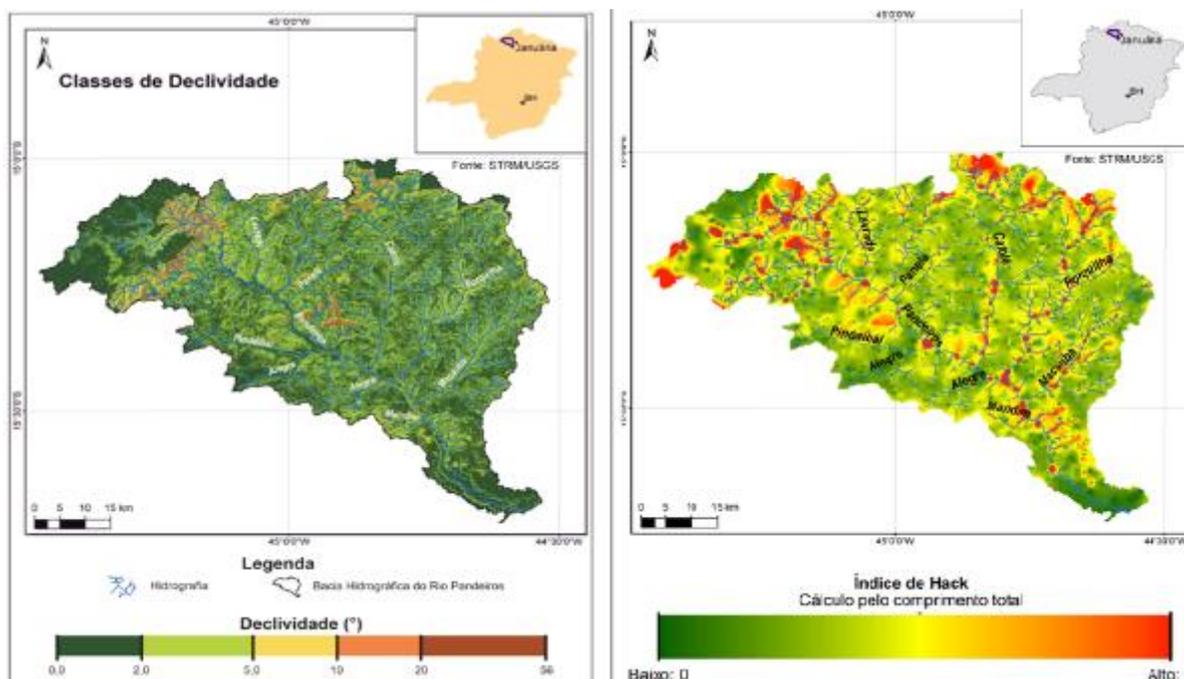


Fonte: Augustin et al., 2020c.

Grande parte dessa Unidade tem baixos índices de concentração de rugosidade (ICR), indicando que os encaixamentos da drenagem não são muito elevados, pelo menos quando comparados com os das áreas da Escarpa (Figuras 1 e 8). Têm declividades predominantemente de baixas a médias, entre 0 e 5°, embora nas porções mais elevadas dos interflúvios e nas formas residuais estas sejam maiores (Fig. 9). Os valores do índice de Hack (Fig. 9) também são baixos, o que significa que a drenagem, de uma maneira geral, tem pouca energia potencial para erosão, auxiliado pela composição arenosa do regolito, que favorece a infiltração da água de *runoff*.

Exceção é verificada nos fundos de vale do córrego Catolé e riacho Borrachudo, onde estes índices, bem como os de declividade, são elevados (5 a 10°), o que pode ser atribuído às condições de retomada erosiva nessas áreas (Figuras 1, 6 e 9). Isto significa que estas drenagens tiveram seus níveis de base alterados, voltando a erodir nas áreas próximas aos canais, tendendo a provocar, em médio prazo, retomada erosiva também nas encostas. A aceleração da erosão ao longo dos canais desses cursos de água é possivelmente causada por impactos antrópicos, provenientes do uso e ocupação da terra.

Figura 9 - Mapas de Declividade e do Índice de Hack (IH), indicando áreas mais susceptíveis aos processos erosivos, do ponto de vista da inclinação do terreno e da energia dos cursos de água.



Fonte: Augustin et al., 2020 a, 2020b.

Outra área com índices elevados de declividade (ICR) e Hack (Fig. 9), mostrando potencial erosivo, corresponde às formas de relevo residuais. Estas formas são remanescentes, como já indicado, de uma superfície plana, topograficamente mais elevada, que existiu de maneira praticamente contínua, em grande parte da bacia e que, ainda hoje, é encontrada na Unidade I, da Chapada (Fig. 1).

Na Unidade III, das Vertentes Longas, ela está restrita aos topos do conjunto das mesetas e de morros isolados de topos convexos da Serra da Mescla. Os topos são mantidos pelas rochas laterizadas da Fm Serra das Araras, praticamente desaparecidas no restante Unidade. Por causa do comportamento destas rochas, as formas residuais têm bordas mais resistentes, resultando em declives acentuados que podem atingir mais de 56°, com altitudes acima de 750 m, o que aumenta o potencial erosivo da drenagem de córregos e favorece a ocorrência de movimentos de transferência gravitacional, como queda de blocos, nas laterais dessas mesetas e morros isolados.

Em termos hidrológicos, a presença de vertentes mais longas nesta Unidade Geomorfológica (Figuras 7, 8 e 9), significa um tempo maior de contato da água de escoamento (*runoff*) com a superfície, aumentando, em condições de cobertura vegetal densa, maior infiltração e menores taxas de erosão. Como toda bacia com forma alongada (Fig. 7), ela tende a retardar a velocidade

dos picos de acumulação da água de chuva nos canais dificultando episódios de enchentes. Com declividade pouco acentuada (Fig. 9) e com solos de granulometria predominante de areia quartzosa (Fig. 2) que tendem a aumentar a infiltração da água do escoamento superficial da maior parte da sua área, há o favorecimento para a formação de veredas.

Nas porções do domínio das rochas da Fm Posse, predominantemente compostas de areia, o relevo é de plano a ondulado, o que contribui para o desenvolvimento de Neossolos Quartzarênicos (DIAS, 2017). Estes são solos pouco evoluídos, com textura de areia (ou areia franca), que podem atingir até 88% da textura (Fig. 2). A grande porosidade do regolito em decorrência da composição arenosa da rocha, o relevo pouco ondulado e pouco inclinado, embora em altitudes que podem atingir até 755 m, bem como a disponibilidade de água de escoamento/infiltração, contribuem para a intensa lixiviação desses solos, respondendo pela quase ausência de elementos de base (Ca, Mg e K). No entanto, essas mesmas características do material e relevo, em situação de densa e rica cobertura vegetal, propiciam a acumulação de matéria orgânica (MO) na camada superficial dos solos, podendo atingir mais de 15%, o que mantém sua capacidade de suporte à vegetação. A matéria orgânica aumenta a fertilidade do solo e melhora suas propriedades físicas, como a estrutura, tornando-os menos susceptíveis à erosão. Quando a cobertura vegetal é retirada e as práticas de manejo induzem à retirada da matéria orgânica do solo, estes se tornam quase estéreis, com baixa aptidão agrícola.

Devido à extensão espacial da Unidade, ou Domínio Geomorfológico III (Fig. 1), as características do substrato rochoso, das condições do relevo e dos tipos de solo podem variar. Assim, são encontrados de maneira localizada, ao longo dos afloramentos das rochas do Grupo Bambuí e do complexo granito-gnaíssico, no médio curso do riacho Borrachudo (Fig. 2), Latossolos Vermelhos (DIAS, 2017). Estes solos são de cor avermelhada intensa em função da presença de óxidos de ferro, textura franco-areonosa, pobres em cátions trocáveis (Ca, Mg e K) e ácidos. Mesmo com deficiência de bases trocáveis, se prestam à agricultura, pois são profundos e com boa aeração, favorecendo o enraizamento. Necessitam de manejo apropriado, pois são susceptíveis à erosão. Também ao longo do alto curso do riacho Borrachudo, ocorrem, localmente, Latossolos Vermelho-Amarelos (Fig. 2), que são como os Latossolos Vermelhos, bem drenados, profundos, embora sejam, como os segundos, pobres em base, ácidos e pouco férteis, exigindo manejo adequado, mesmo porque ocorrem em áreas com a presença de voçorocamentos.

São ainda encontrados nesta Unidade, os Cambissolos (Fig. 2), em especial no alto curso do córrego Catolé e do riacho Borrachudo (DIAS, 2017). Estes são solos mais jovens, comuns em

áreas de reativação da erosão, possivelmente, associada à proximidade da zona da Escarpa norte, da borda da Chapada, causando o aumento da energia e da capacidade erosiva dos cursos de água.

Nas áreas ocupadas pelos altos cursos dos córregos da Panela e, em especial, do Catolé, a baixa declividade, o relevo pouco ondulado e a presença das veredas, levaram ao desenvolvimento de Gleissolos Háplicos (DIAS, 2017). Eles são típicos de áreas permanentemente, ou temporariamente, úmidas (condições de hidromorfia) o que causa a redução do ferro, dando-lhes uma coloração esbranquiçada à esverdeada. Eles são formados por material transportado das partes mais elevadas do relevo, o que inclui a argila (1:1), são pobres em bases, apresentam textura arenosa e são ricos em matéria orgânica (Fig. 2).

Em função da acumulação da matéria orgânica, que lhes confere certa fertilidade, estas veredas têm sido drenadas e intensamente ocupadas por agricultura de subsistência e mesmo pecuária. Estas atividades têm contribuído para a degradação dos ecossistemas das veredas, trazendo não somente a descaracterização das mesmas, como compactação do solo, perda progressiva da matéria orgânica acumulada ao longo de centenas ou mesmo milhares de anos, levando à perda da capacidade de sustentação da agricultura. Ainda tem como consequência, o desaparecimento de fluxo de água, impondo mudanças radicais nas encostas próximas, com o aumentando da erosão nestas áreas e, conseqüente, o assoreamento nos leitos das veredas, que do ponto de vista hidrogeomorfológico, constituem cursos de água.

**Vertentes Curtas (Unidade Geomorfológica IV)** compõem todo o direito da bacia do Rio Pandeiros (Fig. 1). Difere geomorfológicamente da Unidade III, pelo fato de ter drenagem formada por rios mais curtos (exceto o córrego Pindaibal), em menor número (Figuras 7 e 8), seu substrato é composto basicamente de rochas areníticas da Fm Posse, do Grupo Urucuia, embora, como na Unidade III, a presença de afloramentos de rochas da Fm Serra das Araras nas áreas mais elevadas dos interflúvios entre o córrego Pindaibal e o Rio Pandeiros, indiquem a presença de relevo residual (ou testemunho), em forma de mesetas, reforçando o fato de que a imensa superfície plana que existia na bacia, hoje restrita à Chapada, chegava até do outro lado do Rio Pandeiros. É nesta área dos relevos testemunhos, que são encontradas as altitudes mais elevadas (640 a 730 m), a maior declividade (entre 5 e 20°) e a maior energia da margem direita da bacia (Figuras 1, 7, 8 e 9). Os mapas da figura 9 permitem observar que é nela, onde o Índice de Hack também atinge os valores mais elevados de toda a Unidade, significando mais energia da drenagem, indicando maior potencial erosivo, que se estende para as baixas vertentes desses interflúvios com o Rio Pandeiros (Fig. 9).

Diferentemente da Unidade III, os interflúvios da Unidade IV são, em geral, planos a levemente ondulados, com baixa dissecação, favorecendo o aparecimento de veredas, em especial no alto Pindaibal. As maiores declividades médias estão 0 e 5° (Fig. 9).

Este relevo menos ondulado e com baixa declividade, modelado em rochas da Fm Posse, apresenta as mesmas condições da Unidade III para o desenvolvimento de Neossolos Quartzarênicos (DIAS, 2017), ou seja, de solos arenosos pouco desenvolvidos, com baixa presença de cátions trocáveis (Ca, Mg e K), ácidos, com muita presença de alumínio, embora sejam aerados e o relevo favoreça a mecanização (Fig. 2). Contudo, devido à baixa coesão e fertilidade, decorrentes da grande proporção de areia na composição textural, estes solos são susceptíveis à erosão. Em áreas de cobertura vegetal mais densa, há incorporação de matéria orgânica, o que melhora as características químicas e físicas do solo, mas onde esta é retirada para dar lugar à agricultura, há intensa degradação dele.

O relevo relativamente plano da Unidade IV também induz à exsudação da água do nível freático, formando veredas, nas quais se desenvolvem Gleissolos Háplicos, pouco férteis, encharcados, com textura franco-arenosa que, drenados, permitem a agricultura familiar, como acontece em várias veredas da margem direita da bacia (Fig. 2). Esta atividade, no entanto, leva à rápida degradação dos ecossistemas das veredas e à perda da capacidade de sustentação agrícola destes solos, derivada da presença da matéria orgânica. O mesmo acontece nas vertentes dos interflúvios desta Unidade com a retirada da cobertura vegetal, levando ao empobrecimento geral dos solos por lixiviação da matéria orgânica e das poucas bases trocáveis que a rocha matriz fornece. A erosão acelerada, com a presença de voçorocas, encontra-se restrita às áreas próximas ao afluente da margem direita da vereda Alegre, decorrente de impacto antrópico.

**Carste (Unidade Geomorfológica V)** inclui os dois lados da bacia do baixo Rio Pandeiros, antes do Pantanal (Figuras 1 e 7). Abrange uma área de contato entre dois domínios geológicos: na porção mais a montante da Unidade, predominam ainda rochas areníticas da Fm Posse, do Grupo Urucuia, enquanto na porção mais a jusante, em direção à área do Pantanal, ocorrem rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí. Este fato tem várias implicações para a hidrologia, relevo e solos da área.

Do ponto de vista hidrológico, a presença de rochas areníticas nesta parte baixa da bacia do Pandeiros, induz a uma maior disponibilidade de água subterrânea, o que contribui para o grande número de nascentes nesta região, incluindo as do córrego Mandim e de outras

drenagens que correm diretamente para o rio São Francisco, como a do riacho Tejuco. Tanto as rochas areníticas da Fm Posse, como as carbonáticas do Membro Pedro Leopoldo, da Fm Sete Lagoas do Grupo Bambuí, favorecem a absorção do escoamento superficial da água da chuva; nos arenitos, por causa da grande porosidade do material e, no caso das rochas calcárias, pelo intenso fraturamento que apresentam. Nas rochas do Bambuí, há o desenvolvimento de drenagem subterrânea, do tipo cárstico, enquanto na superfície, afloramentos de calcário formam paredões abruptos, na base dos quais são encontradas planícies denominadas *poljes*, onde há exsudação do freático durante os períodos úmidos, e funcionando como sumidouros nos períodos secos. Possivelmente, há formação de cavernas por colapso das rochas, o que também leva ao desenvolvimento de dolinas e uvalas, que alimentam vários cursos de água.

Essa área de contato litológico, é marcada ainda pela presença de uma falha extensional normal que foi e, em parte continua sendo, ocupada pelo canal do Rio Pandeiros. A área conta com valores altos do Índice de Hack (Fig. 9), apontando para a existência de elevada energia dos canais, o que explica a existência de trechos com rupturas de declive, formando trechos encachoeirados e com rápidos ao longo do canal do Rio Pandeiros, como é o caso do daquele onde foi construída a PCH.

A variação litológica e do relevo responde pela diversificação dos tipos de solos que estão presentes na área da Unidade V. Por isto, enquanto no domínio das rochas areníticas da Fm Posse, se desenvolveram Neossolos Quartzarênicos, nas áreas de domínio das rochas carbonáticas/pelíticas, predominam os Latossolos Vermelho-Amarelos (Fig. 2). Interessante apontar que na margem esquerda do córrego Mandim, foram encontrados afloramentos muito intemperizados de rochas da Fm Serra das Araras, que devem responder pela presença de Latossolos Vermelhos ao longo do seu curso (Fig. 2). Ambos são solos profundos, bem aerados, sendo que o segundo tem maior presença de óxidos de ferro, sendo pouco férteis e necessitando de manejo adequado, em especial na área, pois esta tem valores elevados de declividade, com a presença de rupturas de declive, que favorecem o processo erosivo. O material altamente intemperizado das rochas da Fm Serra das Araras pode ser facilmente erodido por fluxos superficiais e subsuperficiais de água, levando à formação de voçorocas, cujo alargamento se dá em grande parte pelos deslizamentos laterais das paredes e por corrida de lamas, quando o regolito encontra-se muito encharcado de água do freático. A retirada do Cerrado, e o uso inadequado desses solos, podem desencadear os processos erosivos concentrados, como os voçorocamentos que ocupam as cabeceiras do córrego Mandim (Fig. 6).

Todo o material mobilizado vai eventualmente para o canal do Rio Pandeiros, provocando seu assoreamento (Fig. 4). Nos interflúvios do córrego Mandim ainda ocorrem áreas de declividade acentuada (Fig. 9), altos valores do Índice de Hack (Fig. 9), o que significa alto potencial erosivo. Isto pode responder pelo fato de que, nesta área, estarem presentes Cambissolos (Fig. 2) que, como já mencionado, são solos mais jovens, possivelmente formados sob a influência de processos erosivos bastante atuantes.

Na Unidade V ocorrem ainda Argissolos Vermelho-Amarelos ao longo de todo o curso do riacho Macaúba (Figuras 1 e 2). O processo erosivo dominante nas margens desse canal formou relevo com mais rugosidade, enquanto a incisão do canal expôs as rochas pelíticas/carbonáticas do Grupo Bambuí, nas quais este solo se desenvolveu. Por causa da presença do calcário no material sedimentar, estes são solos mais férteis, o que explica a intensa utilização da sua área para a agropecuária.

A Unidade V apresenta problemas de perda de solo por escoamento superficial, decorrentes do intenso uso da terra, nem sempre com manejo adequado. Isto ocorre em especial ao longo do córrego Mandim e do riacho Macaúba, onde os solos são mais propícios para a agricultura (Figuras 1 e 2). A retirada da cobertura original do Cerrado seja para fabricar carvão vegetal, seja para o cultivo, tem levado ao aumento das taxas da produção de sedimentos pela erosão, incluindo aquelas decorrentes de voçorocamento, em especial nas cabeceiras do córrego Mandim.

No domínio das rochas areníticas da Fm Posse, por outro lado, o relevo é menos inclinado, com vertentes longas e elevados índices de infiltração da água de escoamento da chuva, o que favorece a retroalimentação das nascentes (Fig. 9). O tipo de processo mais comum nessas vertentes é a erosão laminar que levar à retirada sedimentos finos e de material orgânico da superfície das vertentes, levando à degradação dos solos e à perda da sua capacidade de sustentar cobertura vegetal.

**Pantanal do Rio Pandeiros (Unidade Geomorfológica VI)** constitui um tipo de *wetland*, ou área úmida (Fig. 1), que exerce um importante papel ecológico, pois é considerada, do ponto de vista biológico, um dos mais ricos ecossistemas da região, formando um habitat para diversos tipos de espécies da fauna e flora.

Do ponto de vista hidrogeomorfológico, constitui uma área deprimida, temporária ou permanentemente coberta por água, fato que lhe confere um papel fundamental na dinâmica erosiva da bacia, pois acumula parte considerável da carga de material transportado pelos cursos

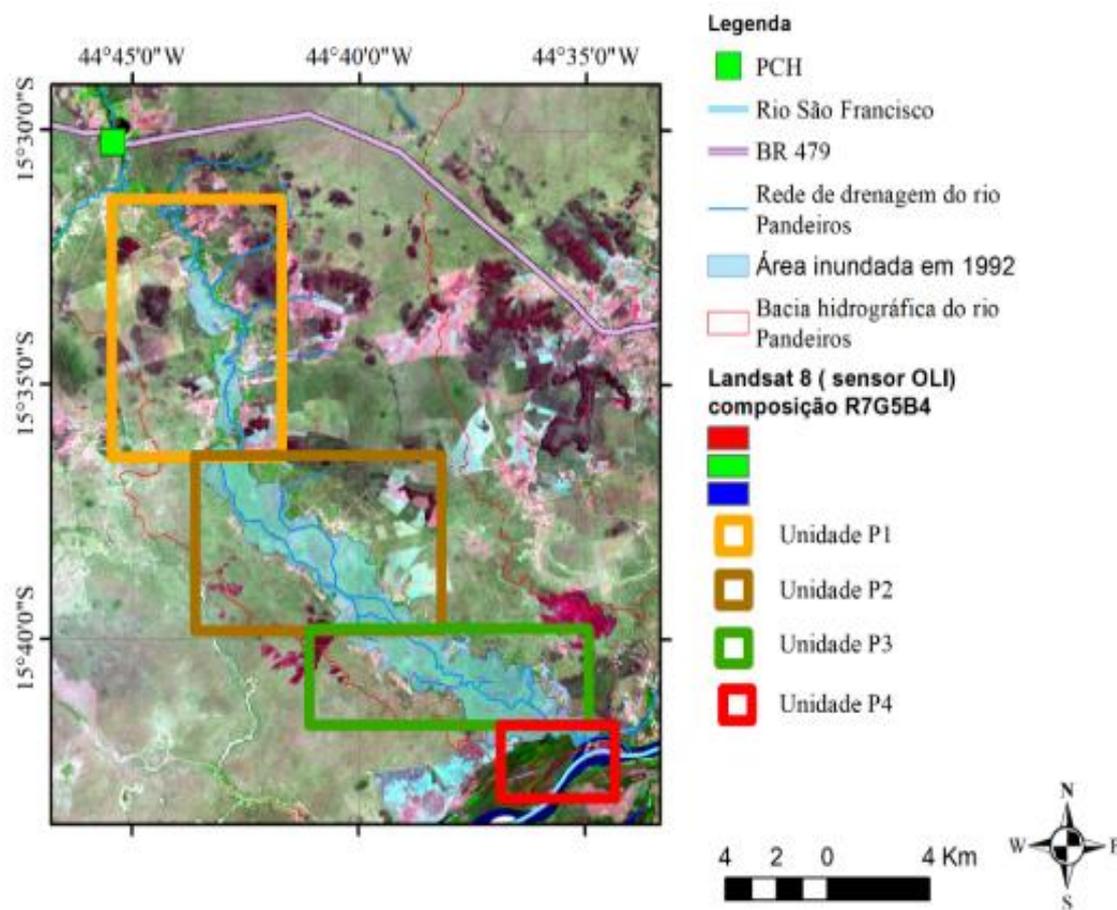
de água (Fig. 10). Isto significa que, não apenas ele retém os sedimentos minerais e de origem orgânica auxiliando na captura de CO<sub>2</sub> e outros nutrientes, como ainda tende a purificar a água, na medida em que realiza estas funções (OLIVEIRA et al., 2020). O Pantanal tem diferentes contribuições ao meio ambiente e sua manutenção é de primordial importância, não somente para o Rio Pandeiros, como também para o rio São Francisco, pois responde por 70% da reprodução da ictiofauna do seu trecho Médio deste último (BETHONICO, 2009).

Como apontado por Oliveira et al. (2020), embora pareça um trecho homogêneo do ponto de vista do relevo, pode-se identificar a existência de pelo menos 4 subunidades, associadas à dinâmica hidrogeomorfológica do Pandeiros e do rio São Francisco, que é o seu nível de base (Fig. 10). Enquanto as duas primeiras subunidades (1 e 2) são dependentes dos picos de inundação do próprio Rio Pandeiros, as 3 e 4 têm suas flutuações diretamente influenciadas pelas cheias do rio São Francisco, cujas águas ‘barram’, e mesmo invadem o Pantanal, impedindo a saída do fluxo do Rio Pandeiros (Fig. 10). Este fato tem efeitos sobre a dinâmica geomorfológica, e fica registrado nas “assinaturas” das geocoberturas (ou regolito) encontradas nas áreas de deposição dos sedimentos do Pandeiros.

Por isto, de acordo com Oliveira (2020), suas características tendem a variar, conforme mostrado por radargramas (GPR) e pela análise de perfis abertos em campo realizados nas pesquisas do Subprojeto 1a (Relatório Final, FAPEMIG, 2020). Os resultados mostram que a energia envolvida quando da deposição dos sedimentos em cada uma das subunidades é diferente, com uma clara diminuição da fração areia da subunidade 1 para a 4, ou seja, de montante para a jusante, ocorrendo maior acumulação de matéria orgânica nas unidades mais próximas do rio São Francisco.

Os solos aí encontrados sofrem diretamente a influência do relevo (Figuras 1, 2, 9 e 10). Os Neossolos Litólicos, que são solos pouco profundos, próximos a afloramentos de arenito da Fm Posse e que, por causa disto, ainda apresentam muitas características do material parental, no caso, são muito arenosos estando presentes em especial na primeira subunidade (Figuras 2 e 10). Parte da subunidade 2, em suas porções formadas por rochas do Grupo Bambuí, apresenta afloramentos de calcário, quase todos circundados por áreas de planícies (poljes) onde predominam Latossolos Vermelho-Amarelos que, em função da profundidade e da sua ocorrência em relevo plano, são muito utilizados para a agropecuária.

Figura 10 - Mapa da área do Pantanal do Rio Pandeiros, na qual foram identificados ambientes diferenciados, mostrando que a *wetland* não é hidrogeomorfologicamente homogênea.



Fonte: Relatório Final Subprojeto 1a, FAPEMIG, 2020.

Nas demais porções do Rio Pandeiros nesta Unidade, em especial ao longo da área ocupada sazonalmente pelo espelho de água, predominam os Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos (Fig. 2). Esses dois tipos de solos têm sua gênese associada aos encharcamentos prolongados e, no caso dos Neossolos Flúvicos, aos sedimentos aluviais e matéria orgânica depositados nos terraços e nas lagoas marginais do Rio Pandeiros, em especial nas deposições da planície aluvial do rio São Francisco. São muito utilizados para a agricultura de subsistência que chega a invadir parte da área não inundada durante o período seco, quando há o recuo do espelho de água do pântano.

Oliveira, D. (2020), identificou o impacto da chegada de sedimentos provenientes da erosão a montante, em especial nas subunidades 1 e 2 (Fig. 10), através do aumento da turbidez refletindo a carga sedimentar fina, em suspensão, incluindo a matéria orgânica. Ainda foi detectado (por ICP) nestas subunidades, o aumento da presença de elementos químicos como Ca e Mg dissolvidos, resultado da lixiviação dos regolitos nas vertentes.

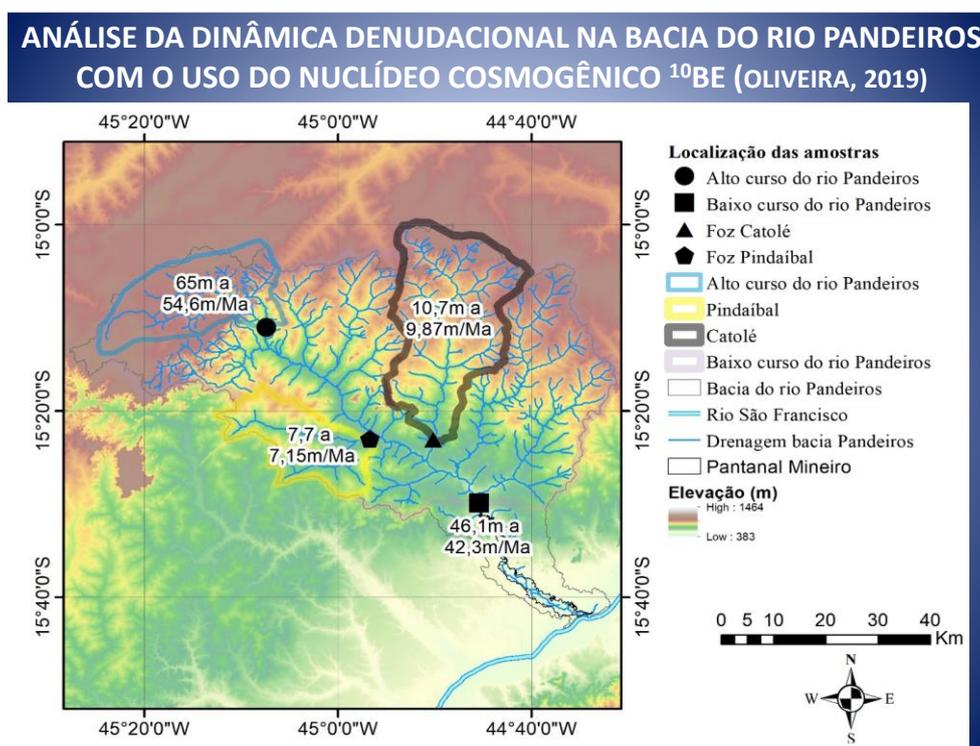
## 2.1.2. Síntese dos Resultados da Análise dos Processos Erosivos na Bacia

### 2.1.2.1. Dinâmica geomorfológica de longo prazo (*long term*)

A análise geomorfológica da bacia (Figuras 1 e 11) evidenciou a perda de sedimentos ao longo da sua evolução, como resultado da sua própria abertura e modelado do relevo (AUGUSTIN et al. 2020a, 2020b, 2020c).

Este fato é também comprovado pelas análises de  $^{10}\text{Be}$  realizadas nos Laboratórios do SUERC (Escócia), com amostras de quartzo. Os dados mostram a perda média da bacia (Fig. 11) nos pontos de coleta no alto, médio e baixo Rio Pandeiros e no córrego Catolé, seu maior tributário, no último milhão de anos (Ma).

Figura 11 - Valores da perda média (em metros) em diversos pontos da bacia do Rio Pandeiros no último milhão de ano (Ma), sendo que o último ponto do Rio Pandeiros representa a média da bacia.



Fonte: Relatório Final Projeto 1a, FAPEMIG, 2020.

O trecho que mais perdeu sedimentos (em metros) ao longo do último milhão de ano (Ma) é a região das cabeceiras do Rio Pandeiros (ribeirão Pandeiros e córregos Suçuarana e Genipapo), com uma média de 59,8 m/Ma (Fig. 11), o que pode ser considerado valor elevado para áreas de coberturas fanerozóicas da região do cráton São Francisco. A perda média da bacia como um todo é de 44,2 m/Ma, valor considerado médio a baixo, quando comparado com regiões tectonicamente ativas da Terra, mas que na região é alto, pois representa uma perda vertical, indicando que a bacia do Rio Pandeiros já conta com um fator “natural” que a predispõe à

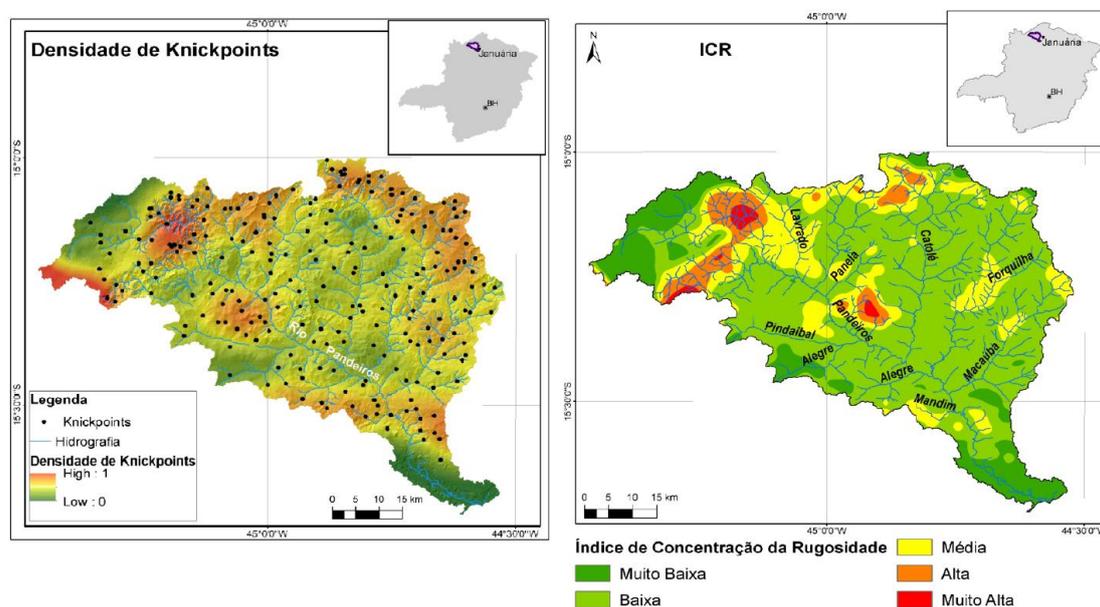
erosão. Os dados também mostram que a área da sub-bacia do córrego Catolé tem perda relativamente baixa com uma média de 10,29 m/Ma, o mesmo se repetindo na bacia do córrego Pindaibal, com uma média de perda de 7,43 m/Ma.

Esses resultados reforçam a hipótese da existência de um contexto natural, no qual as características do relevo e do regolito/solo de algumas Unidades Geomorfológicas, favorecem a ocorrência de processos erosivos concentrados e dispersos, bem como de deslizamentos, levando à degradação dos solos e dos ecossistemas, e agora tendo o fator antrópico com um peso maior no desencadeamento dos mesmos. Embora ocorram naturalmente no meio ambiente, o uso e ocupação da terra aumentam a frequência e a intensidade desses processos, levando a que impactem o meio natural de tal maneira, que muitas vezes tornam as áreas não mais passíveis de recuperação, pelo menos em curto e médio prazo.

### 2.1.2.2. Dinâmica atual (processos erosivos atuais)

Os mapas da figura 12 (*Knickpoints* e Índice de Concentração de Rugosidade) sintetizam as áreas onde ocorrem os processos erosivos mais intensos na bacia do Rio Pandeiros, conforme Augustin et al. (2020c).

Figura 12 – Mapas de *Knickpoints* e do Índice de Concentração de Rugosidade, mostrando as áreas da bacia do Rio Pandeiros, com os mais altos potenciais de energia, que são também aquelas com as maiores concentrações de erosão acelerada.



Fonte: Augustin et al., 2020b; 2020c.

Os mapas da figura 12 indicam a presença de grandes rupturas de declive (AUGUSTIN et al. 2020c) em seis áreas principais: 1) Escarpa NW incluindo as cabeceiras do ribeirão Pandeiros, Genipapo, dos tributários da margem esquerda do ribeirão São Pedro e do baixo córrego

Suçuarana (Figuras 3, 4 e 13); **2**) Escarpas N e NE, ou seja, nas cabeceiras de praticamente todos os tributários da margem esquerda do Rio Pandeiros, incluindo os córregos 1, 2 e 3 (sem denominações nos mapeamentos disponíveis - Figuras 3, 4 e 13); **3**) cabeceiras do córrego Pindaibal; **4**) tributário da margem direita da Vereda Alegre; **5**) porções dos córregos Catolé (riacho Grumicha) e ao longo do riacho Borrachudo, em especial a NE de Bonito de Minas (Fig. 3); **6**) ao longo do córrego Mandim, em uma faixa semicircular, atravessando o leito do Rio Pandeiros e se estendendo em toda a porção NE do Pantanal (Fig. 4). Essas rupturas significam um aumento da energia potencial para erosão, em especial a concentrada.

Os processos erosivos foram agrupados, na bacia, em 3 tipos principais: 1) voçorocamentos; 2) *sapping*; e 3) erosão em lençol. Enquanto os dois primeiros ocorrem agrupados em áreas específicas, o último, a erosão dispersa, encontra-se presente em toda a bacia, em especial, nos domínios das rochas areníticas da Fm Posse.

De todas estas áreas nas quais a energia potencialmente é mais alta, como mostrado nos mapas da figura 12, apenas a do córrego Pindaibal não apresenta erosão concentrada, correspondendo à presença de relevo testemunho, com formas residuais de mesetas e morros isolados (AUGUSTIN et al, 2020b.)

### **2.1.2.3. Principais áreas de ocorrência dos processos erosivos**

1- Foram identificadas 215 voçorocas ativas que se encontram distribuídas em cinco grupos (*clusters*), concentradas na Unidade das Escarpas (em especial nas cabeceiras do Rio Pandeiros), na região de Cabeceirinhas, Igrejinha, mas também em Campos, na bacia do Mandim e na Várzea, todas marcadas pela presença de rupturas abruptas de declive. Entre as causas de indução do aparecimento das voçorocas, 40% estão associadas à presença de estradas vicinais e caminhos e 60% ao desmatamento (Figuras 6 e 13).

2- Foi detectado risco erosivo potencial muito elevado nas áreas dos anfiteatros (Figuras 1, 3, 12, 13 e 14), que são formas de relevo circulares a semicirculares típicas de nascentes de curso de água e que, na bacia, estão localizadas ao longo da Unidade das Escarpas NW, N e NE (Figuras 1, 6, 13 e 14).

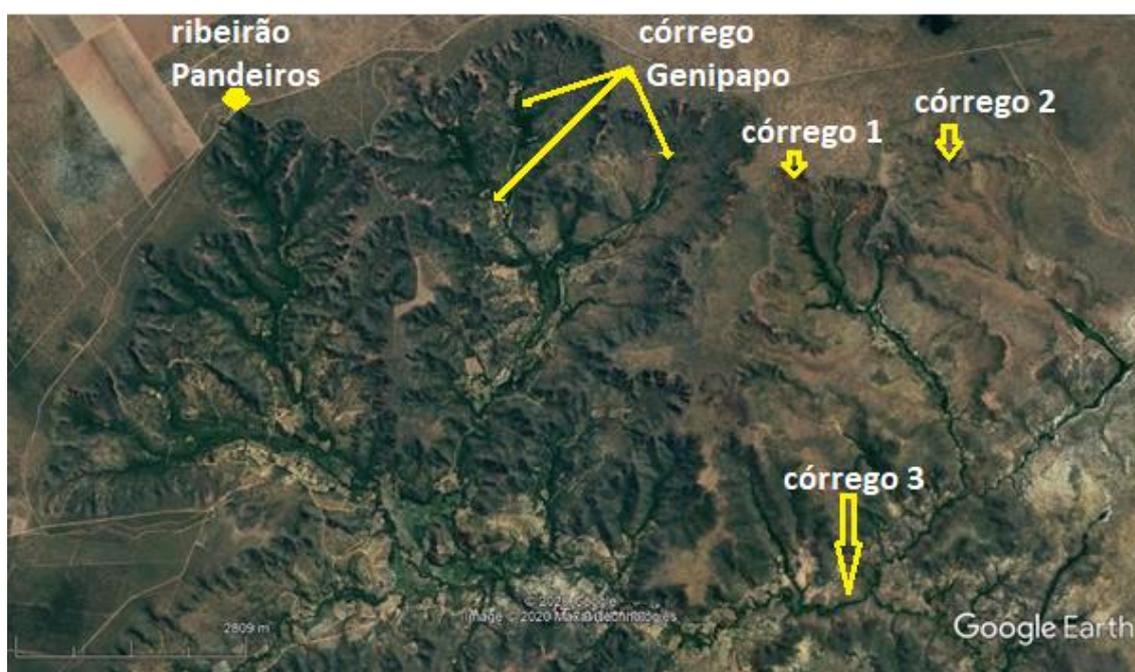
O avanço destas formas de relevo está associado ao recuo das cabeceiras pelo processo de *sapping*, que solapa a base da Escarpa, provocando o acúmulo de sedimentos na zona do quase círculo/semicírculo. Enquanto estão protegidos pela cobertura vegetal, esses sedimentos pouco coesivos mantêm-se *in situ*. Uma vez retirada a cobertura vegetal, como vem acontecendo para

dar lugar à agricultura de subsistência, esses sedimentos são liberados e levados aos canais fluviais, aumentando o assoreamento.

3- Há fortes indícios de que os processos de erosão acelerada nos anfiteatros, tanto por *sapping*, como por voçorocamento (este último disponibilizando sedimentos para o voçorocamento e para os movimentos de massa), estão mais ou menos restritos às áreas de forte ruptura de declive (Figuras 13 e 14), com cobertura das rochas da Fm Serra das Araras mais extensiva, como nas bordas da Chapada (NW, N) e nas Escarpas (NW, N e NE).

Podem também ocorrer em áreas topograficamente menos elevadas, mas com declividade relativamente alta e substrato residual da Formação Serra das Araras, como no córrego Mandim, em especial em suas cabeceiras, em rochas pelíticas/carbonáticas do Grupo Bambuí, como ao longo do córrego Borrachudo, e em Campos, no baixo Pandeiros (Fig. 6).

Figura 13 – Imagens do *Google Earth* na qual é possível identificar a intensa erosão acelerada na área das nascentes do Rio Pandeiros, com a presença de voçorocas e áreas de *sapping*, nos anfiteatros.



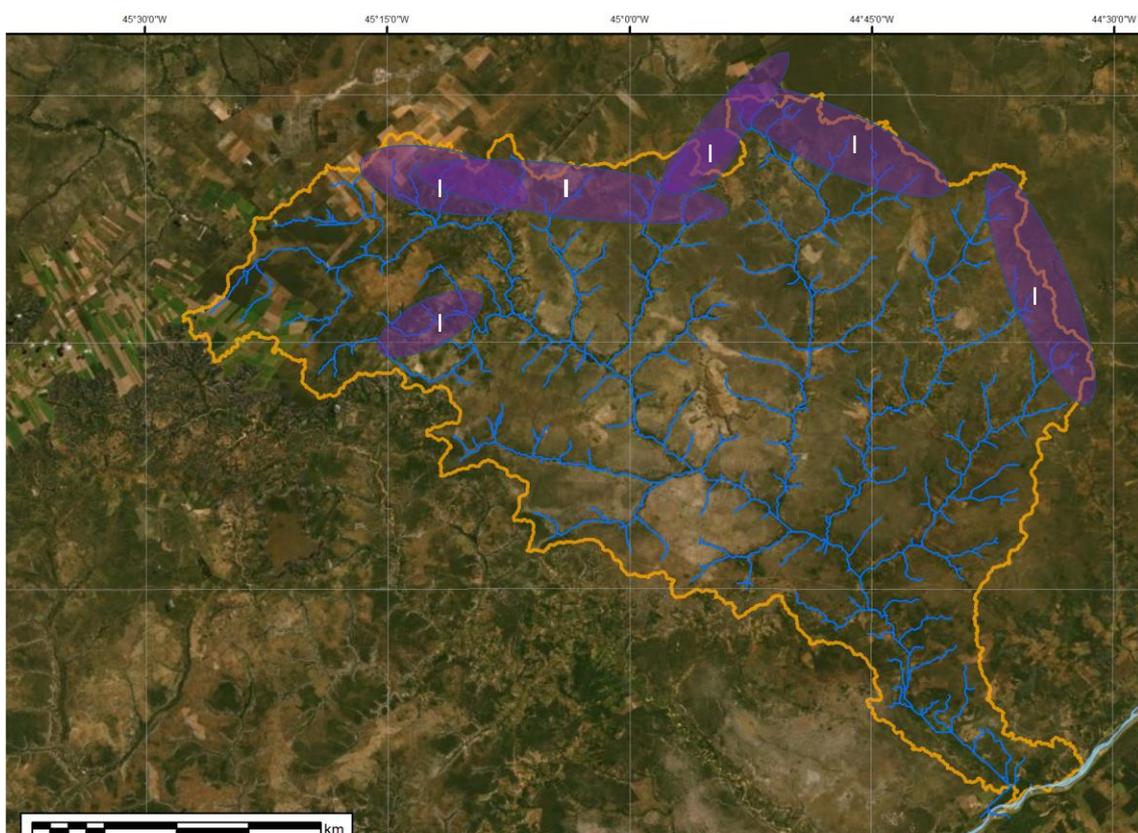
Fonte: Imagens Google Earth, 2020; coordenadas: 15°06'17.64"S e 45°09'56.65'O.

4- No restante da bacia, nas Unidades Geomorfológicas sobre rochas da Fm Posse, do Grupo Urucua e nas pelíticas e carbonáticas, é detectado o predomínio de processos de erosão dispersa, em especial, erosão em lençol. A perda relativamente acentuada de sedimentos nessas áreas, em especial finos e de matéria orgânica, por erosão superficial em lençol nas encostas, provocada pelo *runoff*, decorre em grande parte da retirada da cobertura vegetal, seja para atividades agropecuárias, seja pelas queimadas periódicas. Este processo responde pelo empobrecimento dos solos, em especial os arenosos, gerando a “arenização”, ou seja, a perda

de fertilidade dos mesmos. Diferentemente da desertificação, que está associada à mudança climática, a arenização é um processo resultante da atuação de processos erosivos de lixiviação que retiram os nutrientes do solo, levando à perda da sua capacidade de sustentar a cobertura vegetal, mesmo a natural, afetando também a produção agropecuária, mesmo sem mudança climática.

A retirada da cobertura vegetal, além de afetar a fertilidade dos solos e favorecer a erosão em lençol, pode auxiliar na diminuição da infiltração da água de escoamento (*runoff*) e, em longo prazo, a recarga dos freáticos. Em curto e médio prazo, ela causa a liberação de sedimentos arenosos que podem passar a ser remobilizados pelo vento, resultando em erosão eólica, como já acontece em outras áreas do País, como no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 14 - Áreas de ocorrência de processos erosivos acelerados em anfiteatros, com voçorocamentos e movimentos de massa. Representam zonas prioritárias para ações de contenção.



Fonte: Augustin et al., 2020d.

Como resultado da atuação desses processos, grande quantidade de sedimentos tem sido levada para os canais fluviais do sistema de drenagem do Rio Pandeiros, como comprovado pelos trabalhos do Subprojeto 2, do CDTN/IFNMG (Relatório Final, FAPEMIG, 2020). O assoreamento dos fundos de vale tem impacto sobre os ecossistemas e também sobre a própria sobrevivência do fluxo de água como feição superficial, com capacidade erosiva e de transporte

de sedimentos, bem como de atender, como recurso hídrico, às diversas demandas das populações que deles dependem para sobreviver.

A análise do Pantanal mostrou que esta é uma área crítica em termos de preservação, pois recebe influência direta dos processos erosivos e de degradação do regolito/solo de toda a bacia do Rio Pandeiros, bem como também do rio São Francisco, o que a coloca em situação de risco. Tendo em vista que ela é a única *wetland* nesse trecho do rio São Francisco, sendo responsável por percentual elevado da reprodução da ictiofauna, contribuindo ainda com a vazão, uma vez que se constitui em uma das 19 drenagens permanentes do São Francisco, o Pantanal adquire uma importância regional.

## **2.2. Subprojeto 1b - Diagnóstico climático na bacia do Rio Pandeiros.**

O Relatório Final do Subprojeto 1b se encontra no arquivo: “**RELATORIO-FINAL-(Subproj.1b)-CLIMA.pdf**”, de 146 páginas, incluindo 15 publicações resultantes do desenvolvimento do subprojeto, carregado juntamente com o presente Relatório Final de Síntese Multidisciplinar, no Sistema Everest da FAPEMIG.

### **RESUMO DOS RESULTADOS**

Em termos gerais podem ser apontados os seguintes aspectos quanto às características climáticas na bacia do Rio Pandeiros e região: (1) tendência e variabilidade dos atributos do clima em termos regionais (mesoescala), associado à dinâmica das massas de ar; (2) relação com atributos de microescala, estreitamente relacionado às características de relevo e de uso e ocupação do solo.

Em relação ao primeiro item apontado, no tocante às variações de mesoescala, apesar do maior valor dos desvios negativos em relação às médias anuais de Januária, não se pode inferir, necessariamente, que os totais de chuvas apontem tendência de aumento ou redução, uma vez que a série temporal de dados utilizada (1961-2017) abarca duas fases distintas de aquecimento e resfriamento do fenômeno atmosférico denominado de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), cuja atuação imprime características importantes em termos globais e, conseqüentemente, de variabilidade das chuvas na área de estudo. Na fase fria, que teria se iniciado na segunda metade da década de 1940 (o auge da fase quente precedente à mais recente em 1998, ocorreu por volta de 1945), atingiu o seu mínimo entre meados de 1960-1970, assumindo novamente tendência positiva (elevação dos totais de chuva) a partir de 1975 até o auge em 1998, permanecendo com tendência indefinida na primeira década dos anos 2000 e tendência de queda a partir daí até os dias atuais. De acordo com dados dos desvios em relação aos totais anuais de chuva, na fase fria verifica-se tendência de redução dos totais de chuva, enquanto na fase quente a tendência é de elevação. Portanto, dentro da série analisada, há mais anos com tendência à redução das chuvas (33 anos) do que com tendência ao aumento (17 anos). A tendência de elevação das chuvas e temperaturas no período entre 1977 e 1998 foi interpretada de forma equivocada como associada ao aquecimento global resultante de atividade antrópica.

A distribuição espacial da chuva mostra redução dos totais de sul-sudoeste para norte-nordeste no estado de Minas Gerais, já que se trata de área de transição climática, acompanhando a diminuição em termos de frequência dos sistemas frontais e das Zonas de Convergência de Umidade e do Atlântico Sul (ZCOU e ZCAS), responsáveis por grande parte da precipitação

na região sudeste (e no norte de Minas Gerais). Esses sistemas transportam por advecção o vapor e a umidade atmosférica provenientes do oceano Atlântico para o interior do território brasileiro.

De forma semelhante, a classificação mensal dos dados de precipitação evidenciou tendência de maior frequência de meses secos e normais sobre a região, sugerindo padrão relacionado mais estreitamente ao regime de chuvas com características de transição entre o clima tropical semiúmido do Brasil Central e o tropical semiárido do Nordeste.

Em relação às alterações na variação dos atributos climáticos em microescala, pode-se apontar alguns aspectos, começando pela influência do relevo. Apesar da gênese das chuvas estar diretamente ligada à dinâmica das massas de ar em mesoescala, a atuação do relevo mostra-se importante como componente de modulação local (microescala) dos totais de chuva na região, fato verificado na variação desse atributo para os valores médios anuais no período compreendido entre 2008 e 2018, superiores na Chapada Gaúcha (1039,9 mm) em comparação à Januária (887,2 mm), com diferença de 152,7 mm. A distribuição mensal também evidencia isso, exceto para os meses de outubro e dezembro, e nos totais anuais, exceto em 2011 e 2016. Isso se deve à turbulência mecânica imposta pelo relevo que implica no aumento da convecção do ar, acompanhado de movimento ascendente e de resfriamento por descompressão adiabática, favorecendo a formação de nuvens e, sob certas circunstâncias, precipitação (efeito orográfico). Esse fato assume particular importância na região onde se instala, principalmente considerando que se trata de área dispersora de águas e, portanto, em fontes potenciais de produção de sedimento carregado pela dinâmica de escoamento superficial das águas.

A temperatura do ar, diferente da chuva, é um indicador climático mais adequado para avaliar determinados tipos de alterações ambientais, considerando que o ar se aquece a partir da superfície. Isso significa, teoricamente, que qualquer alteração ao nível dessa superfície pode trazer modificações nos componentes do balanço de energia e, conseqüentemente, nas variações de temperatura e umidade do ar. A tendência de elevação da temperatura no período de 1961-2017 em Januária não é nítida, com baixo valor de correlação, principalmente em relação à temperatura média mínima (0,21), considerado como índice mais apropriado para verificar relação com uso do solo, dada a sua menor dispersão temporal, diferente da temperatura média máxima que, mesmo apresentando índice de correlação mais elevado (0,68), mostra comportamento errático em termos de desvios temporais.

Apesar da discrepância entre os valores de correlação, as variações de temperatura obtidas em ambientes microclimáticos são expressivas e indicam claramente maior disponibilidade de calor sensível e menor aporte de umidade para o ar pelos solos e através da evapotranspiração das plantas em áreas de pastagem e em ambiente de transição entre áreas rurais e urbanas.

Mensurações de temperatura realizadas em remanescentes de áreas naturais (biótopos de cerrado e de mata ciliar) em comparação com áreas urbanas e de pastagem evidenciam isso, indicando temperaturas mais elevadas nas áreas diretamente influenciadas pela ação humana, apontando para saldo positivo de radiação térmica que se soma ao excedente natural presente em toda a região. Os valores médios, máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa do ar obtido na área de mata ciliar do Rio Pandeiros (média: 25,4°C; máx.: 36,5°C; min.: 17,2°C; UR: 65%) foram inferiores aos valores na área de pastagem (média: 26,4°C; máx.: 37,7°C; min.: 19,3°C; UR: 66%) e da estação meteorológica (INMET) de Januária (média: 26,8°C; máx.: 38,2°C; min.: 20,2°C; UR: 64%).

Isso, evidentemente, mostra que não se pode atribuir nenhum tipo de importância às modificações introduzidas no ambiente, principalmente aquelas decorrentes de desmatamento, quando, na verdade, o que de fato se modificou foi, não exatamente o clima, mas a resposta do ambiente alterado pela ocupação humana frente aos diferentes tipos de impactos, inclusive microclimáticos.

### **2.3. Subprojeto 1c – Uso e ocupação dos solos na bacia do Rio Pandeiros.**

O Relatório Final do Subprojeto 1c se encontra no arquivo: “**RELATORIO-FINAL-(Subproj.1c)-SOLOS.pdf**”, de 137 páginas, incluindo 8 publicações resultantes do desenvolvimento do subprojeto, carregado juntamente com o presente Relatório Final de Síntese Multidisciplinar, no Sistema Everest da FAPEMIG.

#### **RESUMO DOS RESULTADOS**

Os resultados obtidos através do subprojeto em questão possibilitaram conhecimentos específicos da área estudada, o que permite a elaboração de planos e programas, pautados em critérios técnicos e científicos, para gestão ambiental da Bacia do Rio Pandeiros. Os resultados possibilitam também, identificar quais áreas são prioritárias para intervenções, visando a recuperação e a proteção da bacia da Bacia do Rio Pandeiros e de seus recursos.

A análise dos solos da região permitiu identificar que a maioria dos solos coletados apresentou textura arenosa, com predomínio de areia fina. De forma semelhante, os sedimentos também apresentaram textura arenosa e apenas um ponto teve os cascalhos como fração dominante, sendo este localizado em uma região de borda de meandro do rio, ou seja, área de deposição de sedimentos. A prevalência da textura arenosa, consiste numa variável que necessita de atenção no se refere às práticas de manejo e conservação do solo e água. Estas áreas são mais frágeis e, o uso inadequado pode intensificar a ocorrência de processos erosivos, devido à menor estruturação e estabilidade do solo. A textura arenosa contribui para processo de recarga hídrica dos aquíferos devido ao maior tamanho dos poros que favorecem a infiltração e a percolação da água, contudo, pode-se ter problemas de déficit hídrico às plantas devido à baixa capacidade de retenção de água na matriz do solo.

A aferição dos resultados das análises granulométricas, para obtenção das curvas granulométricas, foi realizada por diferentes modelos matemáticos considerando os seguintes materiais provenientes da bacia do Rio Pandeiros: solo/saprolito e sedimentos fluviais. Os modelos que melhor se ajustaram às curvas pretendidas, considerando o material em sua totalidade, foram os propostos por Skaggs et al (2001) e Lima e Silva (2002). Através desta análise, foi possível observar que algumas amostras eram compostas por conjuntos de sub-amostras diferentes, sendo necessário o ajuste separado das curvas, para correta obtenção dos resultados

O mapeamento da recarga hídrica subterrânea da bacia do Rio Pandeiros, mostrou que o potencial de recarga da BHRP varia de 0 a 122,71 mm ano<sup>-1</sup>, com uma média de 93,99 mm ano<sup>-1</sup>. As áreas com maior potencial de recarga estão em regiões com cobertura vegetal arbórea densa, áreas planas ou relevo levemente ondulado e solos desenvolvidos e estruturados, cuja porosidade e condutividade hidráulica permitem a percolação da água até o lençol freático. Essas áreas estão espacialmente distribuídas ao longo de toda a bacia, abrangendo os 3 municípios que compõem a mesma.

Já as áreas com menor potencial de recarga de água subterrânea na bacia localizam-se na área urbana onde o menor potencial relaciona-se aos processos de impermeabilização do solo e, nas áreas com presença das classes de solos hidromórficos como os Gleissolos Melânicos e Neossolos Flúvicos, que possuem menores valores de condutividade hidráulica, diminuindo a percolação de água nestas áreas.

A aplicação do modelo DRASTIC, permitiu a análise da vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação. Os resultados indicaram que as áreas com maiores potenciais de contaminação localizam-se em áreas com solos menos profundos e com textura arenosa. Nestas áreas a ocorrência de processos de atenuação natural dos poluentes é desfavorecido. A maior distribuição espacial da classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos, que são solos profundos, bem desenvolvidos e com textura média contribuiu para uma melhor classificação da vulnerabilidade da bacia à contaminação, sendo a classe intermediária a dominante.

O Zoneamento Ambiental e Produtivo da bacia permitiu obter importantes informações acerca da disponibilidade hídrica superficial, do potencial de uso conservacionista da área e dos conflitos de uso. Não foram identificadas áreas em estado de indisponibilidade hídrica e, apenas dois trechos da bacia foram classificados como em estado de atenção. Tais resultados podem ser explicados pelo baixo número de usuários de água superficial, pela regulação dos valores de outorga para uso insignificante, pela restrição dos valores máximos de outorgas e, pela prevalência de áreas preservadas. Observou-se a predominância de Alto Potencial de Uso Conservacionista (PUC) na bacia, resultante dos baixos valores de declividade predominantes que favorecem à recarga hídrica e ao uso agropecuário. Desta forma, as principais limitações na área relacionam-se às questões climáticas, devido às baixas taxas de precipitações anual e, às questões pedológicas, relacionadas à ocorrência de solos arenosos e, portanto, com baixa estabilidade estrutural.

Em síntese, todos os trabalhos apresentados, em concomitância, podem ser utilizados de maneira técnica para um ordenamento adequado do território, auxiliando nos processos de gestão da paisagem e na proteção de áreas com maiores susceptibilidades aos impactos, de maneira que a bacia do Rio Pandeiros, assim como seus recursos, não sejam comprometidos.

## 2.4. Subprojeto 2 – Caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros.

O Relatório Final do Subprojeto 2 se encontra no arquivo: “**RELATORIO-FINAL-(Subproj.2)-HIDROSEDIMENTOMETRIA.pdf**”, de 107 páginas, sendo 50 páginas referentes ao texto principal e 57 páginas relativas a 5 anexos resultantes do desenvolvimento do subprojeto. Este arquivo e mais dois outros: “*Geotrack 2016.pdf*” e “*Geotrack 2018.pdf*”, contendo dois relatórios técnicos relacionados ao georreferenciamento das estações hidrossedimentométricas: referências bibliográficas (GEOTRACK, 2016) e (GEOTRACK, 2018), do Relatório Final do Subprojeto 2, se encontram carregados, juntamente com o presente Relatório Final de Síntese Multidisciplinar, no Sistema Everest da FAPEMIG.

### RESUMO DOS RESULTADOS

Para a caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros foram instaladas quatro estações hidrossedimentométricas (P1, P2, P4 e P5), duas estações climatológicas automáticas (Agropop e Rima) e três estações pluviométricas (São Domingos, Lavrado e Borrachudo) (Figura 1).

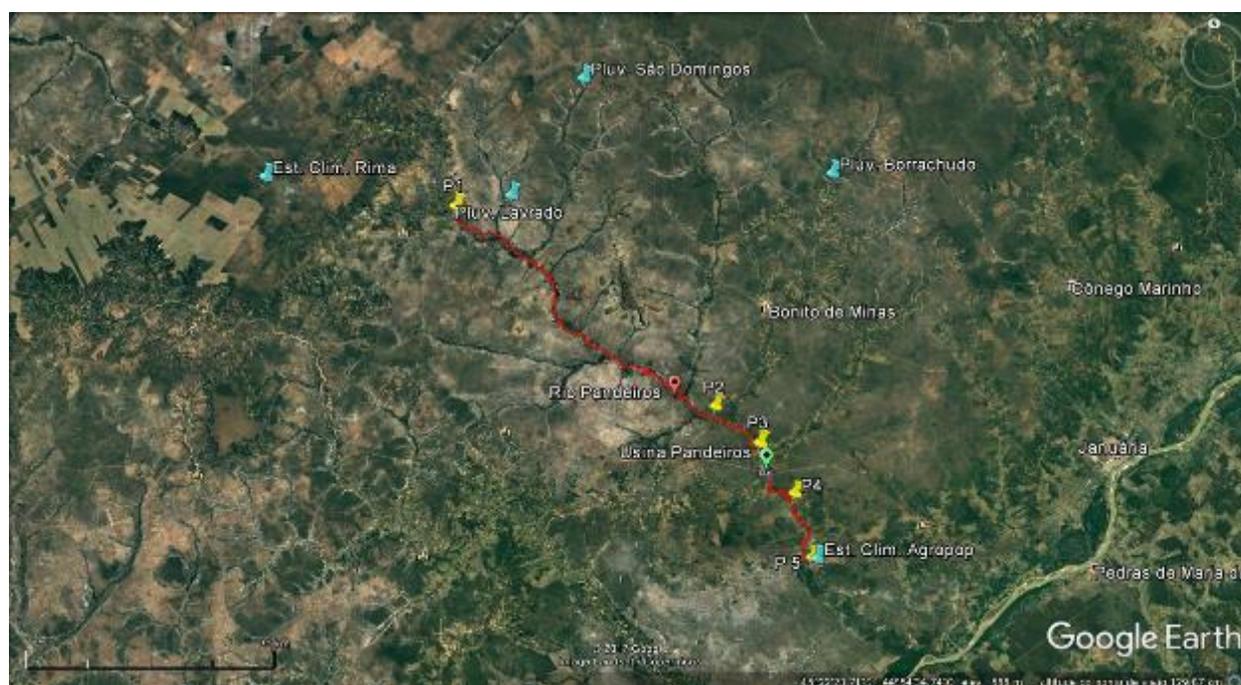


Figura 1 – Localização das estações hidrossedimentométricas, climatológicas e pluviométricas.

As estações hidrossedimentométricas foram equipadas com réguas linimétricas, com sensor de pressão e *datalogger*, programados para medição de nível d’água a cada 30 minutos. A estação denominada P3 já existia desde 1973 e pertence à Agência Nacional de Águas (ANA), com

código: 44250000, sendo operada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. As estações pluviométricas foram equipadas com pluviógrafos e *datalogger*. Assim, dados de nível d'água e de precipitação começaram a ser colhidos a partir de setembro de 2016.

Os RNs das cinco estações foram georreferenciados com GPS geodésico. As distâncias entre as estações ao longo do rio, a partir da Estação P1 (Figura 1), foram medidas com base no Software QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019). A Tabela 1 e a Figura 2 sintetizam os resultados. A PCH Pandeiros situa-se entre as estações P3 e P4 e operou entre 1958 e 2008.

Tabela 1 – Declividade entre as estações hidrossedimentométricas.

Estação	Alt. ortométrica do zero da régua (m)	Distância a partir de P1 (km)	Trecho	Desnível (m)	Distância entre estações (km)	Declividade no trecho (m/km)
P1	590,895	0,00				
P2	521,850	60,04	P1-P2	69,045	60,04	1,15
P3	496,916	69,92	P2-P3	24,934	9,88	2,52
P4	462,570	82,35	P3-P4	34,346	12,43	2,76
P5	457,440	94,61	P4-P5	5,130	12,26	0,42

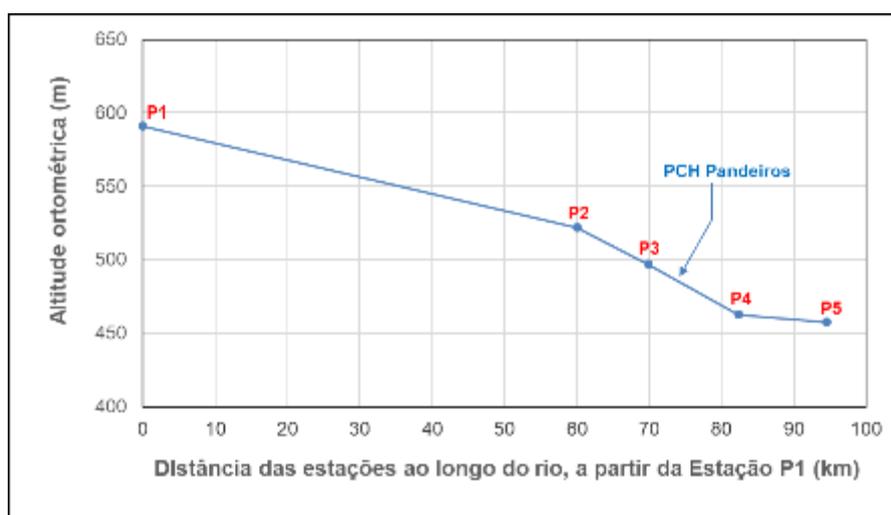


Figura 2 – Distância entre estações X altitude ortométrica do zero da régua linimétrica.

O fenômeno da escassez hídrica na Bacia do Rio Pandeiros é bem evidente pelo gráfico da Figura 3. A média das vazões médias mensais foi de 20,60 m<sup>3</sup>/s, no intervalo de 46 anos (1973 a 2019), de operação da estação da ANA. Observa-se, entretanto, uma tendência à diminuição das vazões médias mensais a partir do início da década de 90. Já no intervalo entre 2016 e 2019, no qual o CDTN realizou medições em P3, esta média foi de 9,14 m<sup>3</sup>/s, ou seja: apenas 44,28 % do valor correspondente ao período completo de operação da estação. Isto vinha dificultando a obtenção da reserva de deflúvio e, conseqüentemente, a geração da energia na ponta. Este fato, aliado a uma operação do reservatório para garantir reserva de deflúvio, provocou uma

diminuição brusca da vazão defluente, causando um impacto desastroso na ictiofauna. Em consequência disto a PCH teve a sua geração suspensa em agosto de 2008 (FONSECA *et al.*, 2008). O reservatório da PCH já se encontrava praticamente todo assoreado quando as medições hidrossedimentométricas foram iniciadas, em dezembro de 2016 (Figura 4).

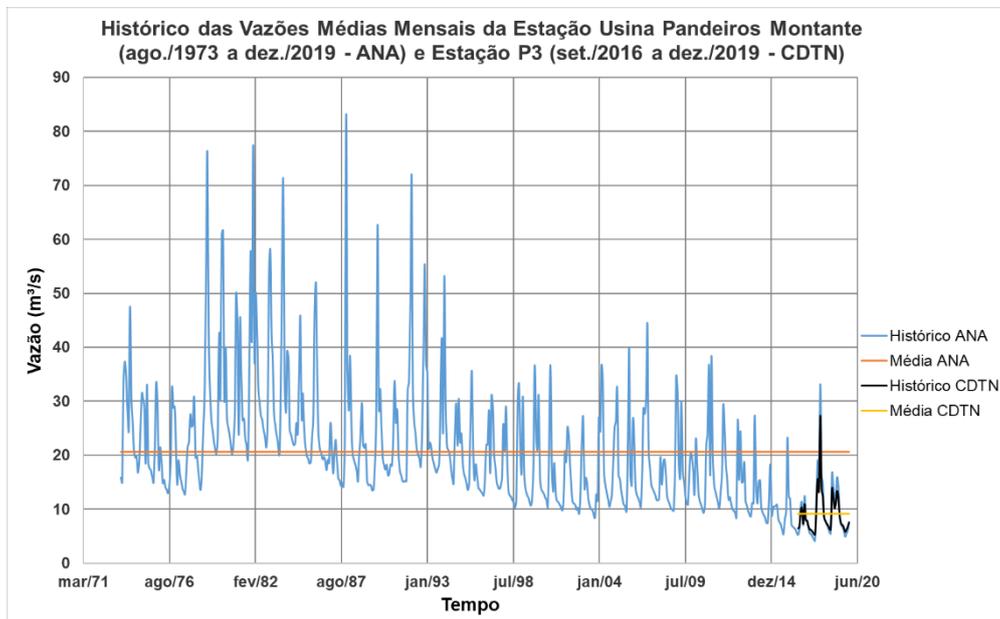


Figura 3 – Histórico das vazões médias mensais da Estação Usina Pandeiros Montante (ago./1973 a dez./2019 - ANA) e Estação P3 (set./2016 a dez./2019 - CDTN)



Figura 4 – Reservatório da PCH Pandeiros e pontos de amostragem de sedimento de fundo.

As campanhas de medições hidrossedimentométricas foram programadas em função do regime de precipitação na região. As chuvas relativamente mais intensas que provocam, naturalmente, o maior transporte de sedimentos, ocorrem no período de novembro a abril e a época de estiagem se estende de maio a outubro (Relatório Final Subprojeto 1b, FAPEMIG, 2020). O gráfico na Figura 5 mostra as pluviosidades médias para cada uma das estações pluviométricas, nos dois períodos. Os valores médios para cada período, considerando o conjunto das três estações, encontram-se assinalados na legenda do eixo das abscissas.

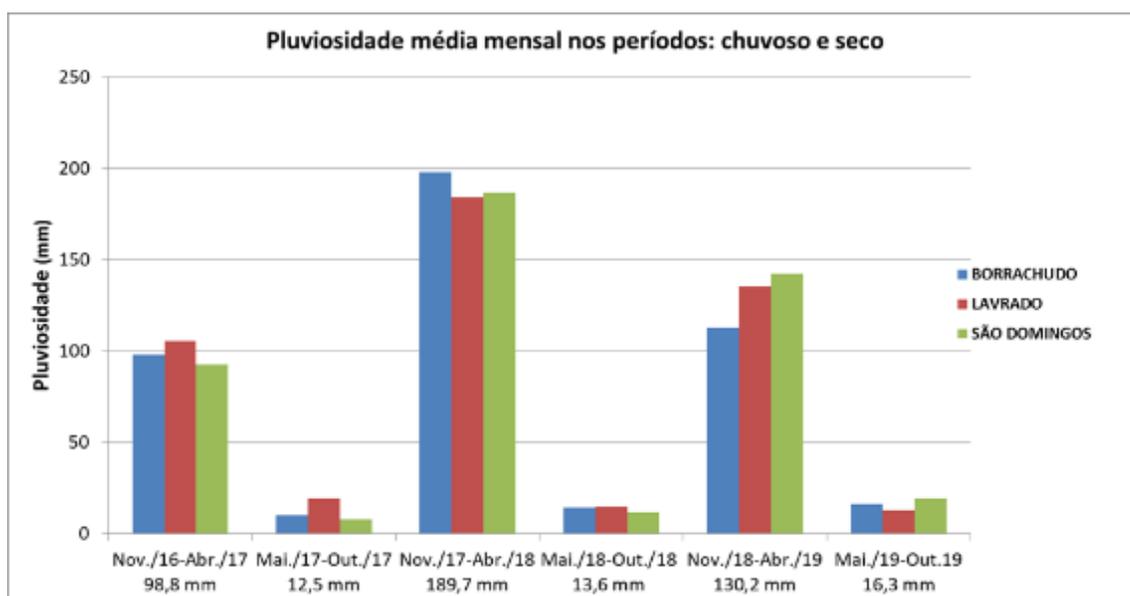


Figura 5 – Pluviosidade média nos períodos: chuvoso e seco.

Entre dezembro de 2016 e maio de 2019 foram efetuadas 148 medições, sendo mais frequentes nos períodos chuvosos. Em cada campanha de campo, pelo menos uma medição foi realizada em cada uma das cinco estações.

Em cada medição era determinada a velocidade da corrente, sendo realizadas também coletas de sedimento em suspensão, e medições de arraste do sedimento de fundo. As determinações de concentração de sedimento em suspensão, bem como da massa de sedimento de arraste e a sua distribuição granulométrica, foram realizadas no Laboratório de Solos do IFNMG/Campus Januária.

Com base nessas medições foram determinadas as curvas-chave Cota X Vazão; Vazão X Transporte em Suspensão (T.S.) e Vazão X Transporte de Fundo (T.F.), para as cinco estações. Assim, foi possível calcular a vazão líquida, o transporte de sedimento em suspensão e o de fundo e, pela soma dos dois, o transporte total, para todo o período estudado, entre 2016 e 2019.

A Figura 6 apresenta o resultado do transporte total semestral dos três anos de medições. A Tabela 2 mostra o transporte total anual e a produção específica de sedimentos, para os três anos considerados e para as cinco estações.

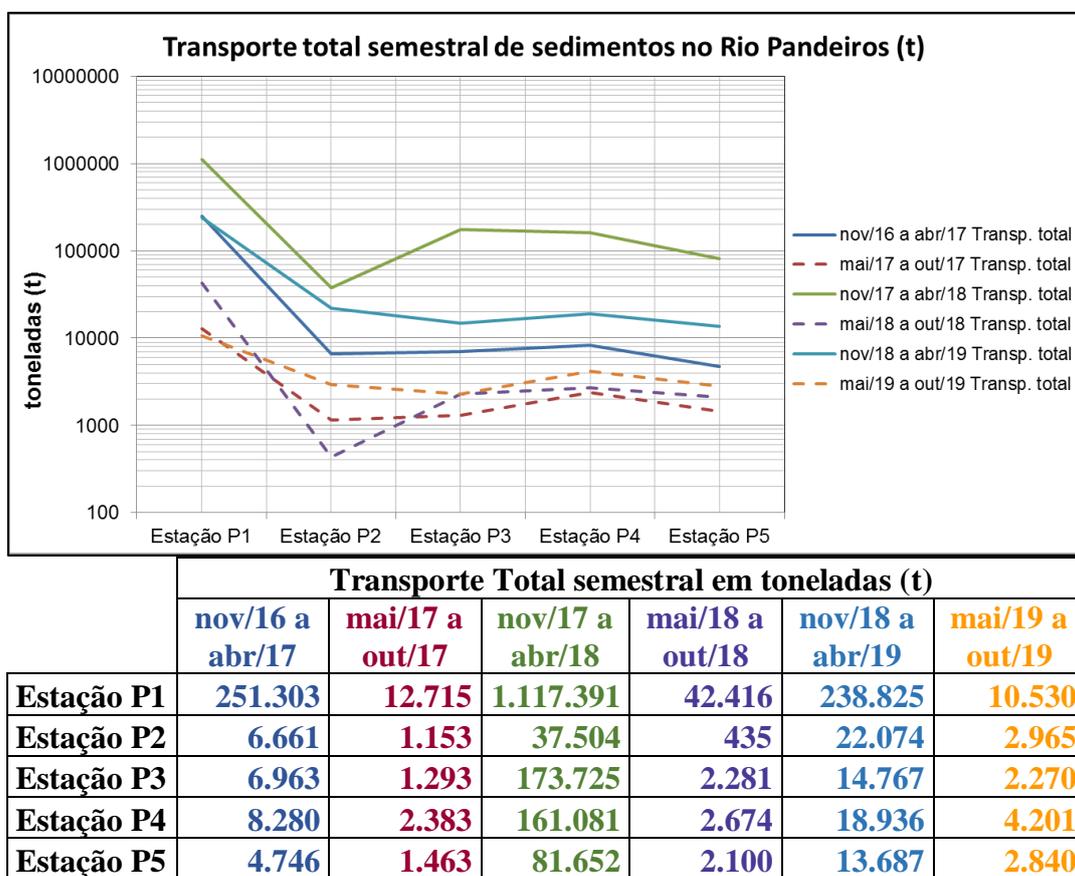


Figura 6 – Transporte total semestral (t) nas estações P1, P2, P3, P4 e P5.

Tabela 2 – Carga e produção específica de sedimentos integralizada no triênio de 11/2016 a 10/2019 para as estações hidrossedimentométricas do Rio Pandeiros, MG.

Estação	Área de contribuição (km <sup>2</sup> )	Transporte total anual (t)			Produção específica (t/km <sup>2</sup> /ano)			
		11/16 a 10/17	11/17 a 10/18	11/18 a 10/19	11/16 a 10/17	11/17 a 10/18	11/18 a 10/19	Média
<b>P1</b>	778,01	264018	1159807	249355	339,35	1.490,74	320,50	716,86
<b>P2</b>	2.686,95	7814	37939	25039	2,91	14,12	9,32	8,78
<b>P3</b>	3.240,98	8256	176006	17037	2,55	54,31	5,26	20,70
<b>P4</b>	3.712,36	10663	163755	23137	2,87	44,11	6,23	17,74
<b>P5</b>	3.802,16	6209	83752	16527	1,63	22,03	4,35	9,34

A área de contribuição da Estação P1 apresenta vertentes íngremes, com uma declividade máxima de 80 m/km da seção de medição da estação P1 até a chapada alta mais próxima (Relatório Final Subprojeto 2, FAPEMIG, 2020). Em consequência, e devido à natureza arenosa do terreno, existem mais de duzentas voçorocas nesta área, que são uma importante

fonte de contribuição de sedimento para o assoreamento do Pantanal Mineiro (LIMA, 2019), (Relatório Final Subprojeto 1a, FAPEMIG, 2020).

### 3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES MULTIDISCIPLINARES

#### 3.1. Subprojeto 1a

##### 3.1.1. Recomendação de medidas mitigadoras, de contenção e de recuperação da bacia

###### 3.1.1.1. Síntese dos processos erosivos

A análise integrada dos fatores geomorfológicos da bacia do Rio Pandeiros, MG, mostra que:

- o relevo e a energia por ele gerada não são homogêneos na bacia do Rio Pandeiros.
- A erosão acelerada, entre elas o voçorocamento, não está presente em toda a bacia, ocorrendo de maneira concentrada em grupos (ou *clusters*) em algumas áreas (Figuras 1, 6 e 13), em especial na da Unidade Geomorfológica denominada Escarpa NW, onde estão localizadas as cabeceiras do Rio Pandeiros (Ribeirão Pandeiros e córrego Genipapo) e nas regiões de Cabeceirinhas, Campos, Igrejinhas, nas cabeceiras e meio curso do Córrego Mandim e Borrachudo, e da Várzea (Fig. 13).
- Outra fonte potencial de geração de muitos sedimentos são os anfiteatros que ocorrem nas Escarpas NW, N e NE (Figs. 1, 14 e 15).
- Nas áreas mais susceptíveis ao voçorocamento, as atividades antrópicas podem não só desencadear este processo, como também influenciar no seu tamanho (largura  $\times$  comprimento  $\times$  profundidade) e na frequência espacial da sua ocorrência, contribuindo para o aumento nas taxas de perda erosiva por estes processos.
- Entre as atividades antrópicas, as que mais impactam o meio ambiente são:
  - densidade e tipo de estradas vicinais (respondem por 40% da presença de voçorocas);
  - desmatamento em áreas de declividade acentuada, em especial nas áreas de cabeceiras e de grandes rupturas de declive;
  - queimadas periódicas, em especial no final do período seco, quando o solo encontra-se descoberto;
  - tipos de uso e ocupação da terra, bem como manejos inadequados, sem orientação de uma agricultura sustentável;

- Mapeamentos apontaram a localização das áreas mais susceptíveis aos processos erosivos, sejam eles concentrados (voçorocamentos, canais de enxurrada), facilitados ou não por movimentos de massa (deslizamentos, corrida de lama), ou dispersos, como a erosão em lençol e o respingo (figuras 6, 13, 14 e 15).

### **3.1.1.2. Recomendações**

- a) Ações imediatas de proteção dos anfiteatros e das zonas a sua jusante, bem como de todas as zonas de cabeceiras, tornando-as áreas de PRESERVAÇÃO AMBIENTAL, independente de já apresentarem ou não voçorocamento.
- b) Isto deve ser complementado com a adoção de medidas imediatas para a recuperação da cobertura vegetal ao longo das bordas da Chapada, em uma faixa de 50 m de *buffer zone*, com o fechamento, inclusive de estradas vicinais.
- c) Controle das voçorocas, com desativação e/ou recuperação das estradas vicinais em suas cabeceiras, replantio das bordas e fundo das mesmas, em especial nas bacias do ribeirão Pandeiros, São Pedro, córregos Genipapo e Mandim e no riacho Borrachudo.
- d) Assistência à população local para a adoção de técnicas de manejo mais adaptadas às condições de relevo e solo em todas as Unidades da bacia;
- e) Realização de cursos para o treinamento de corpo técnico sobre contenção da erosão, em especial, o voçorocamento;
- g) Proposição de planejamento do uso e ocupação da terra, que além de técnicos, envolva a população da bacia;
- f) Realização de um plano integrado de manejo da terra, com participação de técnicos e das comunidades da bacia;
- g) Desenvolvimento de tópicos de educação ambiental nas escolas da região, para apresentação e discussão dos problemas ambientais específicos da bacia do Rio Pandeiros, incluindo as consequências da prática da queimada.

Recomendamos ainda o envolvimento da população local em todas as etapas de esclarecimento, planejamento e consecução das atividades de planejamento, manejo e controle/mitigação dos processos erosivos.

### 3.2. Subprojeto 1b

Em relação às variações locais de chuva na bacia do Rio Pandeiros, a distribuição é diferenciada e favorece áreas mais elevadas sobre os chapadões a oeste no alto vale da bacia, o que impõe necessidade de restrição diferenciada em termos de uso, principalmente na área de contato com a chapada, no médio vale da bacia, onde ocorrem escarpas erosivas, com setores de elevada declividade, expostas ao maior índice de chuvas no alto vale da bacia pelo efeito orográfico. Essas características somadas podem amplificar a susceptibilidade dessa área ao desenvolvimento de processos erosivos, aumentando a carga de sedimentos transportada pelas águas de escoamento superficial, reforçando o assoreamento na foz do Rio Pandeiros.

Outro aspecto a ser levado em consideração, apontado anteriormente em artigo anexo ao relatório final, refere-se à substituição da vegetação nativa biodiversa, dotada de diferentes ciclos fenológicos, por ecossistemas simplificados com espécies culturalmente valorizadas pelas sociedades humanas (lavouras, pastagens etc.). O baixo recobrimento foliar do solo, principalmente na fase de crescimento vegetal e nos períodos de entressafra, reforça negativamente três características microclimáticas: (a) favorecimento do saldo positivo de radiação térmica ou calorífica, que é adicionado ao excedente natural das latitudes tropicais, elevando a temperatura do ar durante o dia, com significativa perda radiativa noturna em decorrência da relativa estabilidade atmosférica e baixo valor de umidade do ar; (b) aumento do contraste térmico diário, ou seja, aumento nas diferenças entre as máximas e mínimas temperaturas diárias (amplitude térmica e higrométrica do ar); (c) redução do aporte de umidade para o ar por evaporação do solo e evapotranspiração vegetal.

Por outras palavras, a preservação de espaços com vegetação nativa é fundamental não apenas para manutenção de condições microclimáticas favoráveis à organização dos biótopos florestais, mas para outros processos como a pedogênese, preservação da microfauna do solo, infiltração de água de chuva nos solos com reposição do lençol freático e aquíferos subterrâneos (aumento do tempo de permanência da água no sistema), umidade do ar via evaporação dos solos e evapotranspiração dos vegetais e regulação da vazão dos rios, ainda mais se forem consideradas as características de distribuição das chuvas, quando comparado à outras regiões do território mineiro e do Brasil, com maior irregularidade na variação temporal dos totais nos meses mais úmidos.

### 3.3. Subprojeto 1c

As características do meio físico da bacia do Rio Pandeiros são determinantes para o planejamento do seu uso e ocupação de forma sustentável.

Embora maior parte dos solos da bacia sejam da classe dos Latossolos, que são solos profundos e muito intemperizados, os mesmos apresentam predominantemente textura arenosa. Se por um lado esta característica confere à área um maior potencial de recarga hídrica subterrânea, por outro, a maior facilidade de percolação da água associada à baixa capacidade de retenção de água e poluentes torna o aquífero mais vulnerável à contaminação por poluentes. A baixa estabilidade do material arenoso, associado às práticas de manejo e conservação do solo e água inexistentes podem agravar a ocorrência de processos erosivos na área, tendo como consequências o arraste de partículas e deposições nos cursos de água com assoreamento e contaminação destes.

Estas análises podem ser utilizadas como ferramentas de gestão da paisagem da bacia do Rio Pandeiros, identificando áreas preferenciais para serem conservadas, assim como áreas preferenciais para implementação de planos de recuperação ambiental, como práticas de conservação de solos.

Através da análise dos resultados de demanda hídrica na bacia não foram identificados conflitos pelo uso da água na bacia, com inexistência de trechos de indisponibilidade hídrica e, apenas dois trechos em estado de atenção. Destaca-se que a manutenção deste cenário se mostra possível devido ao baixo número de usuários de água superficial outorgados na bacia e, provavelmente devido à maior restrição de vazão máxima outorgável, o que reduz a pressão sobre os recursos hídricos. Contudo, devido à fragilidade da área no que se refere à baixa capacidade de retenção de água dos solos associada à distribuição irregular das chuvas na região, práticas que aumentem a permanência e maior infiltração de água nos solos em detrimento ao escoamento superficial são de fundamental importância para garantia da segurança hídrica na bacia. Desta foram recomenda-se a manutenção da cobertura vegetal na superfície do solo, formas de plantio com o menor revolvimento do solo, como cultivo mínimo e plantio direto, plantio em nível, terraceamento, bacia de captação de água, dentre outras. Destaca-se também que estas práticas são de fundamental importância para redução do processo erosivo na bacia, que apresenta alta probabilidade para tal, tanto nas áreas de solos mais rasos, relevo mais movimentado, como nas bordas das chapadas, como nas áreas mais planas, mas com presença de solos arenosos. As áreas mais vulneráveis associadas à presença de chuvas

mais concentradas devem também ter atenção especial quanto às práticas de manejo e conservação do solo e água, devido à maior fragilidade destas aos processos erosivos.

As áreas de maiores potenciais de recarga hídrica, constituídas por formações florestais, relevo plano ou suavemente ondulado e com presença de Latossolos Vermelho-Amarelos, consistem em áreas onde as práticas de manejo e conservação adequadas são fundamentais para a garantia da resiliência do sistema. Nessas áreas, embora tenha-se solos com boa capacidade de infiltração de água que associados ao relevo plano possibilitam um maior uso da área, práticas inadequadas como uso intensivo, plantio convencional, retirada da cobertura vegetal podem levar à uma degradação intensa com alto potencial erosivo. As áreas de menor potencial de recarga hídrica, relacionadas aos solos hidromórficos, estão localizadas nas partes mais baixas da paisagem, nas áreas de várzea e Pantanal e constituem-se em áreas de alta fragilidade ambiental. São áreas de alto potencial de contaminação hídrica além de serem áreas importantes relacionadas à diversidade biológica, sendo, portanto, necessárias práticas de manutenção de vegetação ciliar de forma a garantir a integridade ambiental das mesmas.

Assim, os resultados podem ser utilizados como ferramentas para gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros, identificando áreas preferenciais para recarga hídrica, para recuperação de vegetação nativa, para práticas de manejo e conservação do solo e água, para os usos agropecuários e de maior resistência à processos erosivos e, desta forma subsidiando a elaboração de planos, programas e ações para garantir a sustentabilidade socioeconômica e ambiental da bacia.

### 3.4. Subprojeto 2

A caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros permitiram chegar às seguintes conclusões:

- O processo de assoreamento decorre da alta produção de sedimento das 215 voçorocas identificadas, sendo a maioria delas localizada nas encostas da Serra do Gibão, a montante da PCH de Pandeiros, bem como da superfície da bacia, distinta do processo de voçorocamento, sendo uma fonte difusa que permanentemente alimenta o transporte de sedimentos pelo rio;
- O sedimento que aporta na região do pantanal do Rio Pandeiros faz parte de um processo sedimentar cuja dinâmica ocorre a milhares de anos, sendo um processo dinâmico com interação, inclusive, com o regime do Rio São Francisco, como estudado no Subprojeto 1a, parte do presente projeto, a cargo do IGC/UFMG (AUGUSTIN *et al.*, 2020);
- A quantidade máxima de sedimento, quantificada até o presente no período chuvoso (nov./17 a abr./18), que passa na estação P3, a primeira logo a montante da PCH, é de 173.725 t (Figura 6 – item 2.4). Isto corresponde a um volume aproximado de 78.668 m<sup>3</sup>, sobretudo de areia média (Figura 4 – item 2.4).

Consideramos a utilização do reservatório da PCH Pandeiros, através de dragagem da região logo a montante da barragem, como a única opção efetiva para a minimização, urgente e imediata, do aporte de sedimentos ao Pantanal do Rio Pandeiros, enquanto medidas corretivas são implementadas na região de montante, a qual representa 91,93% da área total de drenagem da bacia (Figura 23 – Relatório Final do Subprojeto 2).

Esta dragagem deverá ser realizada sempre em período seco (maio a outubro), com a finalidade de se criar uma armadilha de deposição do sedimento, sobretudo areia, no período mais intenso do transporte de sedimento, o período chuvoso, enquanto as medidas corretivas são implementadas. Considera-se uma primeira dragagem experimental de cerca de 26.000 m<sup>3</sup>, ou seja: de 1/3 do volume máximo já quantificado no período chuvoso, que passa na estação P3. A areia dragada poderá ser inclusive, destinada à construção civil.

A flutuação temporal da disponibilidade hídrica mostra claramente uma tendência decrescente a partir dos anos noventa (Figura 3 – item 2.4). Assim, o procedimento de dragagem criará também um volume de reservação que poderá funcionar, concomitantemente, como um

reservatório de armazenamento de água para suprir as futuras demandas da comunidade de Pandeiros e adjacências.

O gerenciamento da dragagem da PCH, com a finalidade de se criar uma armadilha de areia para conter parte do sedimento transportado no período chuvoso, envolverá o levantamento batimétrico antes da dragagem, que deverá ser realizada antes do período chuvoso, bem como logo após este, e a comparação entre os dois levantamentos, para avaliar os quantitativos do sedimento depositado. Paralelamente a isto deverão ser mantidas as medições hidrossedimentométricas efetuadas no presente projeto, pelo menos nas estações:

- Estação P1: para o monitoramento da carga sedimentar oriunda da região da maioria das voçorocas, durante o processo de contenção das mesmas, para avaliação da sua efetividade;
- Estação P3 para quantificar o transporte de sedimento que chega ao reservatório e a porcentagem desse transporte retida na armadilha criada pela dragagem;
- Estação P5 para quantificar, ao longo do tempo, a carga de sedimentos que chega ao pantanal, provocando o seu assoreamento.

Essa quantificação é extremamente importante como meio verificador do resultado de todas as ações que forem desenvolvidas na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, avaliando a sua eficácia na minimização do transporte de sedimentos que assoreia o Pantanal Mineiro.

## 4. RESUMO GERAL E RECOMENDAÇÕES INTEGRADAS

### 4.1. Resumo geral

De uma maneira sintética, no presente estudo, podem ser identificados dois grandes problemas ambientais na bacia do Rio Pandeiros:

1. A erosão concentrada e dispersa nas vertentes e fundos de vale mobilizando grande quantidade de carga sedimentar. No caso da erosão concentrada, em especial voçorocamentos, tem-se uma expressiva perda de sedimentos; no caso da erosão dispersa, tem-se a perda da capacidade produtiva dos solos, afetando a sucessão positiva da cobertura vegetal, as atividades agropecuárias e mesmo a recarga dos lençóis freáticos.
2. O assoreamento intenso, que impacta os cursos de água e seus ecossistemas, em especial a área do Pantanal do Rio Pandeiros, uma *wetland*, com consequências sérias sobre os ecossistemas, populações ribeirinhas e a própria sobrevivência dos cursos de água, causado pela intensa mobilização de sedimentos pelos processos erosivos.

Esses dois itens levam a outro, que também constitui parte das recomendações deste Projeto, para a mitigação, contenção e proteção ambiental da bacia: os efeitos do descomissionamento da PCH no baixo curso do Rio Pandeiros.

Outro aspecto importante a ser considerado é que a adoção dessas recomendações visa obtenção de outros benefícios para o sistema hídrico em médio e longo prazo, como é o caso da recomposição dos níveis freáticos, de maneira a garantir a perenidade do Rio Pandeiros. O mapeamento da recarga hídrica subterrânea da bacia do Rio Pandeiros mostrou que o potencial de recarga da BHRP varia de 0 a 122,71 mm ano<sup>-1</sup>, com uma média de 93,99 mm ano<sup>-1</sup>. As áreas com maior potencial de recarga estão em regiões com cobertura vegetal arbórea densa, áreas planas ou relevo levemente ondulado e solos desenvolvidos e estruturados, cuja porosidade e condutividade hidráulica permitem a percolação da água até o lençol freático.

Foi possível identificar seis áreas (6) que necessitam de ações urgentes no sentido de contenção e mitigação da erosão concentrada e dispersa (Fig. 1), além de outra que inclui praticamente toda a área da bacia, onde ocorre erosão dispersa, cujo controle pode ser beneficiado pelas ações nas demais áreas. A identificação dessas áreas foi realizada com base em mapeamentos, levantamento com o auxílio de drones e de medidas de campo, incluindo dados de balanço do tipo hidrossedimentológico da bacia ao longo de 3 anos, realizado pelo CDTN e IFNMG.

Figura 1a – Mapa de *Knickpoints* mostrando as áreas com as maiores rupturas de declive da bacia do Rio Pandeiros, que coincidem com as mais críticas em perda de sedimentos por erosão. Fonte: Augustin et al., 2020c; Relatório Final Subprojeto 1a, FAPEMIG, 2020).

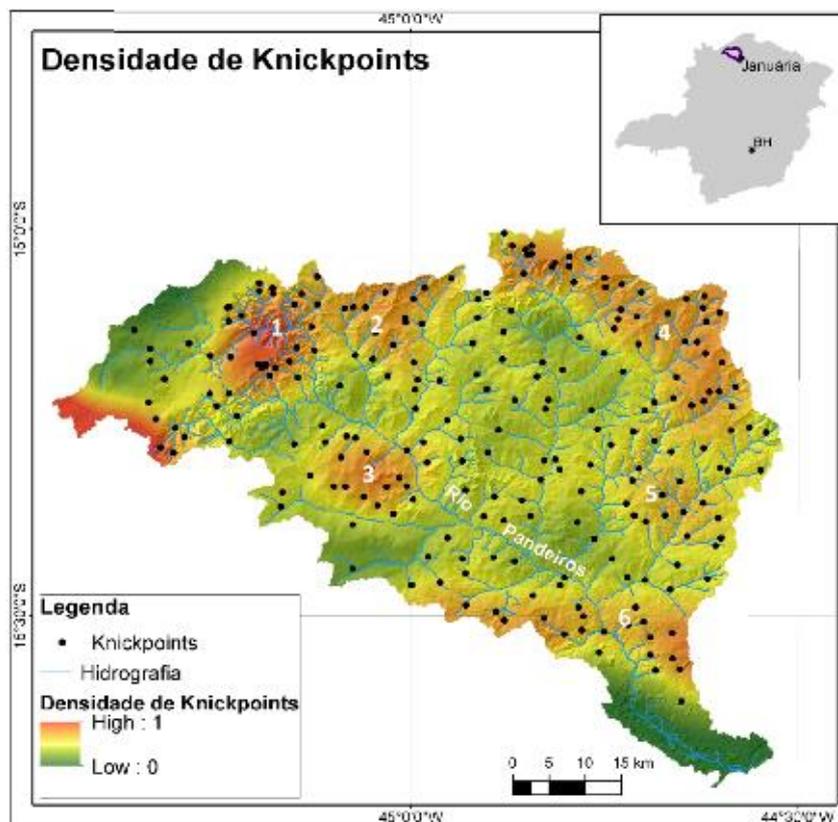
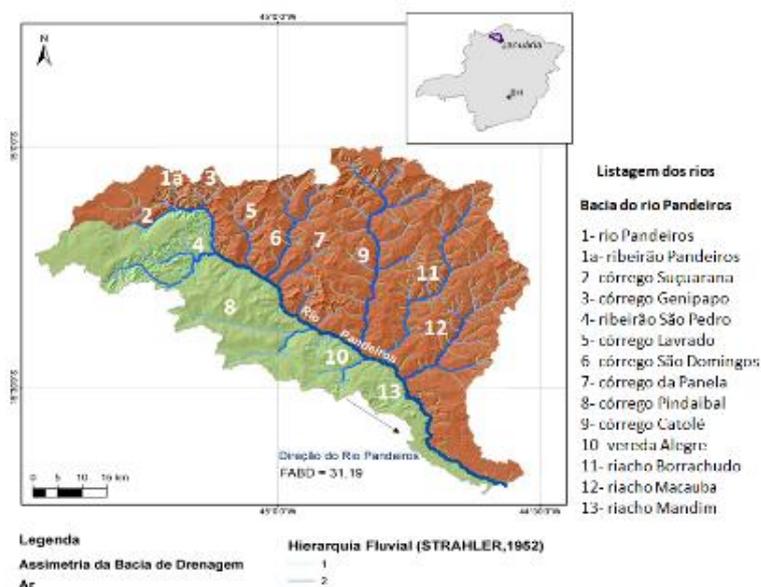


Figura 1b – Localização com relação aos cursos de água do sistema fluvial do Rio Pandeiros das áreas de erosão crítica. Fontes: Augustin et al., 2020c; Relatório Final Subprojeto 1a, FAPEMIG, 2020).



As áreas críticas, com os mais intensos e significativos focos de erosão concentrada e produção de sedimentos na bacia (Figuras 1a e 1b; Tab. 1) são:

1) A primeira (Área 1) encontra-se localizada na **Escarpa NW** (Fig. 1a, área 1; Fig. 1b), nas vertentes do ribeirão Pandeiros, do córrego Genipapo e de dois outros córregos (1, 2 e 3), do médio e alto curso do córrego Lavrado. Engloba ainda as nascentes da margem esquerda do riacho São Pedro (Fig. 1a e 1b). Medidas realizadas pelo CDTN corroboram a identificação desta área, localizada na Unidade Geomorfológica da Escarpa NW (Fig. 1a), como sendo crítica do ponto de vista da erosão. As medidas realizadas na estação hidrossedimentométrica P1, de medição de vazão e transporte de sedimentos P1 (Tab. 1), localizada a jusante dessa área, mostram que a área 1, sozinha, responde por 1.673.180 toneladas (t) do total de 2.249.313 t anuais transportadas, ou que passaram, nas cinco estações da bacia no período medido de 3 anos. Este valor corresponde à aproximadamente 74,4% de toda a carga sedimentar medida, embora a área drenada corresponda à apenas 20,5% da área drenada na estação P5, a mais à jusante das estações (Fig. 2).

Figura 2 – Localização das estações hidrossedimentométricas e suas respectivas áreas de drenagem. Fonte: Relatório Final Subprojeto 2, FAPEMIG, 2020.

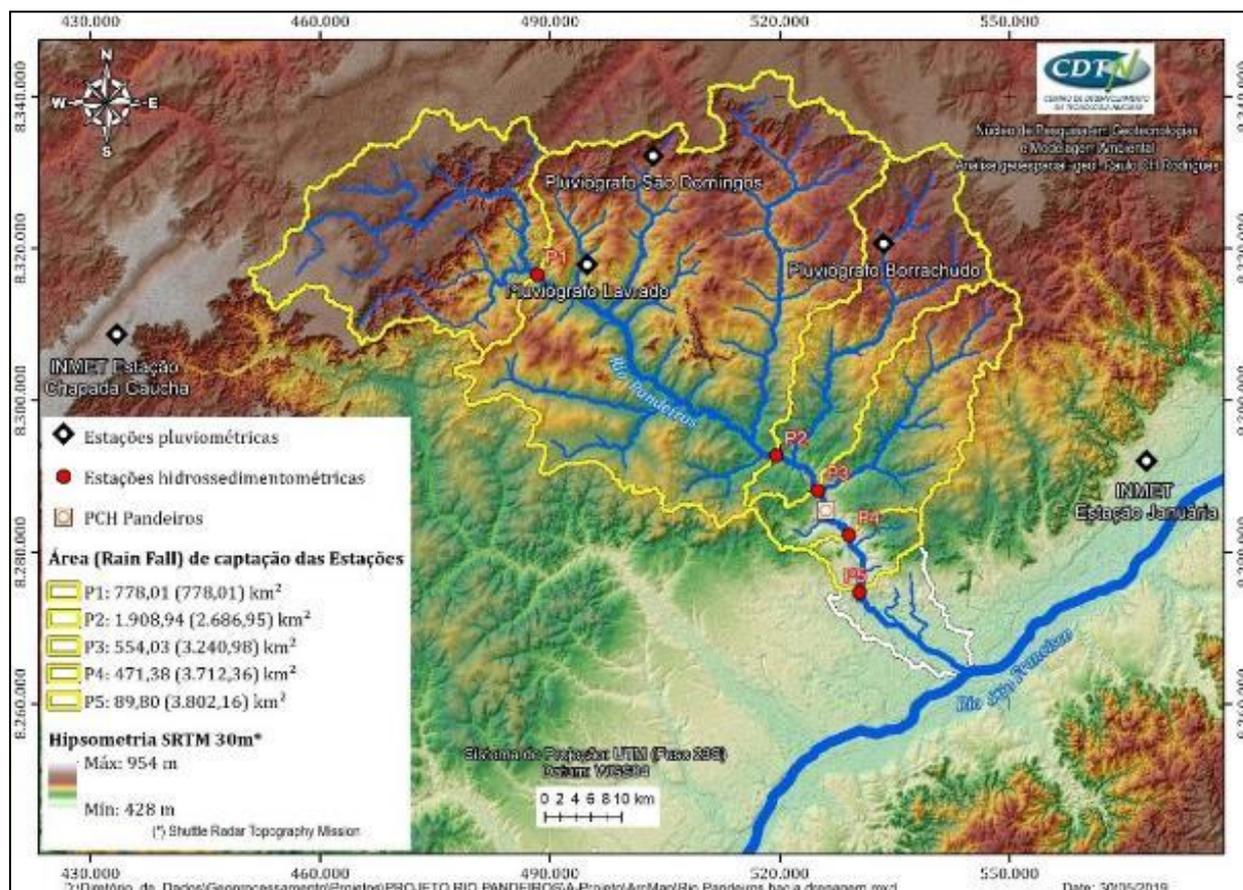


Tabela 1 - Transporte total anual em toneladas (t) nas estações P1, P2, P3, P4 e P5, de nov/16 a out/19. Fonte: Modificado de Relatório Final Subprojeto 2, FAPEMIG, 2020.

Estação	Transporte total anual em toneladas (t)			Somatório do transporte por estação
	nov/16 a out/17	nov/17 a out/18	nov/18 a out/19	nov/16 a out/19
<b>P1</b>	264.018	1.159.807	249.355	1.673.180
<b>P2</b>	7.814	37.939	25.039	70.792
<b>P3</b>	8.255	176.006	17.037	201.298
<b>P4</b>	10.663	163.755	23.137	197.555
<b>P5</b>	6.209	83.752	16.527	106.488

A produção específica, que é o transporte de sedimentos que passa por uma determinada seção da calha do rio durante o ano, em função da sua área de contribuição (t/km<sup>2</sup>/ano), é apresentada na Tabela 2, para os valores da Tabela 1.

Tabela 2. Produção específica de sedimento integralizada no triênio hidrológico de 11/2016 a 10/2019 para as estações hidrossedimentométricas do Rio Pandeiros, MG. Fonte: Modificado de Relatório Final Subprojeto 2, FAPEMIG, 2020.

Estação	Área de contribuição (km <sup>2</sup> )	Produção específica (t/km <sup>2</sup> /ano)			
		nov/16 a out/17	nov/17 a out/18	nov/18 a out/19	Média
<b>P1</b>	778,01	339,35	1.490,74	320,50	716,86
<b>P2</b>	2.686,95	2,91	14,12	9,32	8,78
<b>P3</b>	3.240,98	2,55	54,31	5,26	20,70
<b>P4</b>	3.712,36	2,87	44,11	6,23	17,74
<b>P5</b>	3.802,16	1,63	22,03	4,35	9,34

Note-se que este parâmetro apresenta valores muito maiores para a região a montante da estação P1 (Área 1 – Fig. 1a).

Além disso, o efeito da pluviosidade se faz notar nitidamente quando a produção específica do ano hidrológico (nov/17 a out/18) com a dos outros dois é cotejada. Isto pode ser observado quando se compara os valores da pluviosidade média ocorrida na estação chuvosa deste ano (nov./17 a abr./18 = 189,7 mm), em relação à pluviosidade dos demais anos: (nov/16 a abr./17 = 98,8 mm) e (nov./18 a abr./19 = 130,2 mm) (Ver figura 5 – item 2.4).

Em relação às variações locais de chuva na bacia do Rio Pandeiros, a distribuição é diferenciada, com índices pluviométricos mais elevados ocorrendo, pelo efeito orográfico, na região da Chapada das Gerais e nas porções mais elevadas das Escarpas (Relatório Final

Subprojeto 1b, FAPEMIG, 2020), onde justamente encontram-se localizadas as áreas críticas 1 e 2.

Como os tipos de solos predominantes espacialmente na bacia têm em comum granulometria arenosa fina levando-se em consideração que em uma mesma área de ocorrência das voçorocas pode preponderar tipos diferentes de solos, este aparentemente não constitui, apesar da sua importância, a variável principal no desencadeamento da erosão e disponibilidade dos sedimentos na bacia. A cobertura vegetal, que constitui um dos fatores mais significativos na contenção da erosão, também é muito variável, sendo difícil associar diretamente o tipo de fitofisionomias às taxas de sedimentos medidas neste trabalho. Portanto, pode-se assumir que as variações das cargas sedimentares estão mais associadas às características do relevo, em especial às declividades e às rupturas de declive, intensificadas pelo uso e ocupação da terra nas últimas décadas. Isto levou à ocorrência de erosão acelerada, em especial por voçorocamento, mas também em alguns casos, por retomada erosiva. São áreas de cabeceira, que também sofrem o efeito do *sapping*, que solapa a base dos anfiteatros, disponibilizando colúvio pouco coeso, que é facilmente erodido pela enxurrada e levado aos cursos de água, de onde são apenas parcialmente transportados a cada evento.

A Área 1 (Fig. 1) constitui, assim, uma das áreas com a necessidade mais urgente de intervenções para a adoção de medidas mitigadoras e corretivas, destacando-se:

2) A segunda área mais crítica é a localizada na sub-bacia do córrego Lavrado (Figuras 1a e 1b), caracterizada por ruptura de declive da zona da Escarpa NW, contando ainda com a presença de anfiteatros contendo grande acumulação de colúvio, resultante do processo de *sapping*. Estas são feições geomorfológicas semicirculares formadas por processo de *sapping*, que atua na base das vertentes, onde há exfiltração do freático alimentando as nascentes. O processo faz recuar as escarpas, disponibilizando grandes quantidades de colúvio pouco coeso, que tendem a ficar retidas por causa do ponto de estrangulamento na saída da nascente na base do semicírculo.

Essas formas geomorfológicas encontram-se ainda no estágio no qual conseguem conter a maior parte do material coluvial, motivo pelo qual os valores de sedimentos da estação P2, que também mediu a carga do córrego Catolé (Tab. 1), terem atingido apenas 70.792 t, mostrando que ainda não assinala essa entrada de sedimentos. Associado a este fato, deve-se ressaltar que a área de ocorrência dos processos erosivos encontra-se restrita ao alto e meio curso do córrego Lavrado. Contudo, há evidências observadas em campo e por imagens do Google Earth (2020), mostrando que esses anfiteatros estão em processo de uso e ocupação por agricultura de

subsistência, o que, sem orientação de profissionais da área de agropecuária, pode representar um elemento indutor de disponibilização de muito sedimento para os cursos de água levando a que se atinjam níveis críticos de assoreamento.

3) A terceira área, apesar de aparecer como de ruptura acentuada de declive, representa uma porção mais elevada do relevo, nos interflúvios entre o córrego Pindaibal e o Rio Pandeiros (Fig. 1a, área 3). É um relevo residual, testemunho da zona da Chapada, que chegava nesta porção da bacia. Apesar das declividades acentuadas, é uma região onde predomina a erosão dispersa, associada à perda da fertilidade dos solos.

4) A quarta área mais crítica é a localizada nas Escarpas N e NE (Fig. 1a, Área 4), correspondendo às zonas de cabeceiras de todos os tributários da margem esquerda do Rio Pandeiros (Fig. 1b). Embora as medidas da carga sedimentar (Tab. 1) não indiquem valores totais, medidos durante os três anos, muito elevados (272.090 t) nas estações P2 e P3 (Fig. 2) que açambarcam grande parte dos sedimentos que descem destas sub-bacias, quando comparados com a Área 1 (Escarpa NW) é nela onde se encontra o maior número de anfiteatros da bacia. Como já analisado com relação à Área 2, estas feições geomorfológicas contêm grande quantidade de sedimentos pouco coesos ainda presos na zona de afunilamento dos canais de 1ª e 2ª ordem. O uso e ocupação inadequados da terra nestas zonas podem significar um aporte significativo nos canais mais a jusante, gerando assoreamento.

5) A quinta área encontra-se localizada à NE de Bonito de Minas, ao longo do riacho Borrachudo e em parte do seu afluente, o córrego Forquilha, se estendendo para a margem direita do riacho Macauba (Fig. 1). É a área de drenagem coberta pela estação P3 (Tab. 1, Fig. 2). No entanto, entre a estação P2, que fica antes da coleta da drenagem do riacho Borrachudo, e a estação P3, tem-se um incremento na quantidade de sedimentos medidos, passando dos 70.792 t na estação P2 para 201.298 t na estação P3, com um aumento, portanto de 284,4%, mas com uma diferença de apenas de 20,6% da área drenada da estação P2 para a estação P3. Sendo assim, o tamanho da área não responde pelo aumento da carga de sedimentos. Como esta é uma área de declividade mais acentuada, e de relativamente intenso uso e ocupação da terra, com retirada extensiva da cobertura vegetal, há grande ocorrência de voçorocas respondendo pelo aumento da carga de sedimentos.

6) A área 6 talvez constitua a área mais crítica da bacia. Localizada no baixo Rio Pandeiros (Fig. 1a, Área 6; Fig. 1b), constitui uma zona de contato do domínio das rochas areníticas da Fm Posse com as pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí, caracterizada pela presença de cachoeiras e corredeiras, onde foi construída a PCH do Rio Pandeiros. Esta é uma zona de formato semicircular que, do ponto de vista geomorfológico, apresenta potencial erosivo natural

elevado, o que é amplificado pelo fato de contar com uma maior densidade de ocupação antrópica, comparativamente com as demais áreas da bacia, o que favorece a densidade da ocorrência de voçorocas, em especial ao longo do córrego Mandim. O problema do voçorocamento é que este se encontra em áreas muito próximas do Pantanal, o que reduz o trajeto de transporte dos sedimentos gerados, fazendo com que atinjam rapidamente o Pantanal. Ao observar os dados da tabela 1, nota-se que o somatório de sedimentos das estações P4 e P5, localizadas na área do Pantanal, atinge 304.043 t. Como, de uma maneira geral, espera-se que os sedimentos produzidos a montante da bacia sejam naturalmente depositados nesta porção do rio, estes valores podem até parecer modestos, se comparados com aqueles da Área 1. De fato, a carga sedimentar destas duas últimas estações corresponde à apenas 18,2% daquela da estação P1. No entanto, há alguns fatores a serem considerados com relação a estes números: o primeiro é que, de uma maneira geral, como indicado por Augustin et al. (2020c), parte da carga sedimentar proveniente das sub-bacias a montante, é retida em áreas de baixa declividade no leito do Rio Pandeiros, onde este perde energia, levando a que sua carga seja depositada. São áreas de meandramento do canal fluvial do Rio Pandeiros, formando inúmeras lagoas marginais. Esses sedimentos são novamente mobilizados somente durante os períodos chuvosos, quando os tributários vertem mais água, aumentando a vazão do Rio Pandeiros e o transporte dos sedimentos.

Um segundo aspecto é a presença da barragem da PCH Pandeiros, construída em uma zona de ruptura abrupta de declive. Além da energia produzida, ela passou a exercer um papel “antrópico/geomorfológico” de contenção dos sedimentos que chegam até a montante do Pantanal, seja pela possibilidade de o sedimento ser depositado no seu interior, seja pela baixa declividade da linha de energia do escoamento que a barragem proporciona pela criação da zona de remanso, com cerca de 2 km de extensão, a montante da mesma (Relatório Final Subprojeto 2, FAPEMIG, 2020). Neste sentido, o processo de descomissionamento da PCH no baixo curso do Rio Pandeiros, conduzido pela CEMIG, tem o potencial de provocar impactos na dinâmica hidrogeomorfológica e hidrológica da bacia do Rio Pandeiros, entre elas:

- a) Retomada erosiva pelo processo de recuo da ruptura de declive, levando à formação de um novo nível de base local, com repercussões em todas as vertentes até certa porção da bacia a remontante;
- b) Liberação de sedimentos para o Pantanal, aumentando o impacto existente hoje na *wetland*.

Na função de retentor dos sedimentos da bacia, o reservatório da PCH Pandeiros, passa a ter um papel fundamental no equilíbrio da *wetland*, impedindo que parte representativa destes sedimentos chegue até ela.

#### **4.2. Recomendações integradas**

As recomendações visando o controle da erosão e, em decorrência do assoreamento na bacia do Rio Pandeiros, são de três tipos: A) ações de contenção e mitigação da erosão na bacia; B) voltadas para a ampliação e aprofundamento do conhecimento sobre a bacia, no sentido de melhorar e acompanhar a eficácia das medidas de contenção e mitigação apontadas neste relatório e C) específicas sobre a PCH, em função da sua proximidade com a área do Pantanal.

##### **4.2.1. Recomendações para a contenção e mitigação da erosão**

- a) Ações imediatas de proteção dos anfiteatros e das zonas a sua jusante, bem como de todas as zonas de cabeceiras da bacia, em especial no lado esquerdo da bacia (ÁREA 4; Fig. 1a), tornando-as áreas de **PRESERVAÇÃO AMBIENTAL**, independente de já apresentarem ou não voçorocamento.
- b) Isto deve ser complementado com a adoção de medidas urgentes para a recuperação da cobertura vegetal, com espécies nativas, não decíduas, nas zonas de nascentes, com especial atenção aos anfiteatros, **ao longo das bordas da Chapada e nas Escarpas (Áreas 1, 2 e 4)**, em uma faixa de 50 m de *buffer zone* no seu entorno e dentro dos mesmos, com o fechamento, inclusive de estradas vicinais que não sejam estritamente necessárias, além de trilhas e caminhos de gado.
- c) Controle das voçorocas, com desativação e/ou recuperação das estradas vicinais em suas cabeceiras, replantio das bordas e fundo das mesmas, em especial **nas bacias do ribeirão Pandeiros, São Pedro e córrego Genipapo (Área 1); no alto e meio curso do córrego Lavrado (Área 2); riacho Borrachudo na região a NE de Bonito de Minas (Área 5); nas vertentes ao longo do córrego Mandim (Área 6)**.
- d) Proteção e recomposição vegetal das áreas de veredas e de outras áreas de encostas, para prevenir a erosão e maximizar a realimentação dos lençóis freáticos.
- e) Controle das queimadas.
- f) Assistência à população local para a adoção de técnicas de manejo mais adaptadas às condições de relevo e solo em todas as Unidades da bacia.

- g) Realização de cursos para o treinamento de corpo técnico sobre contenção da erosão, em especial, o voçorocamento.
- h) Proposição de planejamento de uso e ocupação da terra, que além de técnicos, envolva a população da bacia.
- i) Proposição de um plano integrado de manejo da terra, por parte dos diversos entes do poder público e com participação de técnicos e das comunidades da bacia.
- j) Desenvolvimento de tópicos de educação ambiental nas escolas da região, para apresentação e discussão dos problemas ambientais específicos da bacia do Rio Pandeiros, incluindo as consequências da prática da queimada.
- k) Recomendamos ainda o envolvimento da população local em todas as etapas de esclarecimento, planejamento e consecução das atividades de planejamento, manejo e controle/mitigação dos processos erosivos.

#### **4.2.2. Recomendações para ampliação do conhecimento sobre a bacia e monitoramento**

Como a bacia do Rio Pandeiros do ponto de vista físico constitui um exemplo do que ocorre em outras bacias do médio São Francisco, e tendo em vista a necessidade de conhecimentos básicos do meio natural destas áreas para subsidiarem projetos e iniciativas de uso sustentável dos recursos naturais destas áreas, incluindo a preservação e manutenção dos cursos de água, apontamos a importância de investimentos em outros projetos de pesquisa a serem conduzidos. Estes projetos atendem ao proposto pelos princípios de sustentabilidade de desenvolvimento econômico e social das populações que indica, como elementos fundamentais para guiá-lo: respeito aos limites ambientais das áreas e a utilização do conhecimento científico como subsídio *sine qua non*, para que isto seja atingido.

- Continuidade das medições hidrossedimentométricas;
- Desenvolvimento de outros estudos geomorfológicos e geofísicos, para esclarecer aspectos ainda não totalmente entendidos relativos às características estruturais do Pantanal e do comportamento das rochas e do regolito na bacia;
- Estudos para elucidar a dinâmica hidrogeomorfológica dos diferentes trechos do Rio Pandeiros;
- Estudos socioeconômicos e demográficos para levantar as características intrínsecas da população e sua relação com as questões ambientais.

Indicamos a importância da continuidade das medições hidrossedimentométricas na bacia do Rio Pandeiros por mais alguns anos, tendo em vista a variabilidade climática da região e a importância de medições, sobretudo em época de chuva, quando é maior o deflúvio e, por consequência, o transporte sedimentar que é a causa principal do assoreamento da região do Pantanal do Rio Pandeiros.

Dessa forma, espera-se que parte dos equipamentos adquiridos pelo Subprojeto 2 seja transferida para o IFNMG, assim que estes forem doados ao CDTN pela FAPEMIG na finalização deste projeto. Esta iniciativa, dentro do escopo do projeto, é uma forma de potencializar a continuidade do ensino prático das atividades em medições de campo em Hidrologia e Sedimentologia no IFNMG, iniciado no presente projeto, e também de facilitar a continuidade deste tipo de medições na bacia do Rio Pandeiros, que sugerimos no Capítulo 7 do Relatório Final do Subprojeto 2.

#### **4.2.3. Recomendações sobre a PCH Pandeiros**

O Pantanal do Rio Pandeiros, apesar do seu tamanho relativamente pequeno comparado com outras *wetlands* do mundo, tem entre suas funções ambientais, reter sedimentos e capturar carbono, contribuindo para conter o aquecimento climático global, o que as tornam áreas de proteção especial. No entanto, essas funções encontram-se comprometidas uma vez que o Pantanal constitui uma das áreas mais críticas com relação ao impacto ambiental na bacia do Rio Pandeiros. Três aspectos subsidiam esta afirmação:

- 1) o fato do Pantanal dar suporte às atividades de ecossistemas específicos, sensíveis a mudanças abruptas de características não só físicas, como também químicas da água, como o pH, Ca e Mg;
- 2) de estar localizado a jusante da bacia, o que o influencia de duas maneiras: a- ser depositário, em algum momento, de parte dos sedimentos deslocados de montante e que, nos atuais níveis, tende a assorear sua zona de contenção de água, levando à sua agradação; b- estar submetido às variações e dinâmica sazonais não só do Rio Pandeiros, mas também do rio São Francisco;
- 3) porque a zona úmida do Pantanal em si, ou seja, a que apresenta água não só nos períodos de cheias, mas durante todo o ano, é contida lateralmente por rupturas abruptas de declive, tornando-a uma zona “encaixada”, ou seja, com pouca variação lateral, ou “espraiamento” da água, mesmo em períodos de enchentes. Isto contribui para que a deposição de sedimentos se torne mais restrita à zona de encaixamento, aumentando os efeitos do assoreamento.

Neste cenário, a presença da barragem da PCH a montante do Pantanal, constitui um elemento de “retificação” do perfil de declive que naturalmente aí existe, contendo os sedimentos que, de outra maneira, entrariam na área do Pantanal. Portanto, do ponto de vista geomorfológico, sua retirada terá efeitos sobre a retomada erosiva a montante, com conseqüente aumento da erosão e remobilização de sedimentos depositados nas margens, o que, levando em consideração a síntese acima apresentada, pode vir a ser desastroso do ponto de vista ambiental. Deve-se ainda considerar que isto tende a comprometer a própria efetividade da piracema, apontada como o principal impacto positivo decorrente da remoção da barragem pelo projeto de descomissionamento em andamento.

Dessa maneira, não é descabida a proposta de se considerar a manutenção da barragem da PCH Pandeiros, com a utilização dos sedimentos ali contidos para outros fins enquanto medidas corretivas são implementadas na região de montante, a qual representa 91,93% da área total de drenagem da bacia (Figura 23 – Relatório Final do Subprojeto 2). Os sedimentos hoje retidos no reservatório são compostos principalmente por quartzo de granulometria média (Figura 4 – item 2.4), oferecendo uma ótima possibilidade de aproveitamento para diversos fins, entre eles a construção civil. Este aspecto, inclusive, vem atender a princípios do desenvolvimento sustentável, que preconiza a reutilização de recursos naturais já usados ou retirados pelo homem da natureza.

Além desse aspecto, a barragem tem, hoje, não só a função de reter os sedimentos, como também de disponibilizar a água para usos diversos da população local. Este aspecto é de importância, uma vez que se detectou uma queda de 44,28% na vazão média mensal do Rio Pandeiros, na estação P3, considerando o período de 46 anos entre agosto de 1973 a dezembro de 2019 (20,16 m<sup>3</sup>/s) de operação continuada desta estação de propriedade da ANA (Código 44250000), em relação ao período entre outubro de 2016 e outubro de 2019 (9,14 m<sup>3</sup>/s), das medições efetuadas no presente projeto (Relatório Final Subprojeto 2, FAPEMIG, 2020).

Tendo em vista as colocações anteriores, consideramos a utilização do reservatório da PCH Pandeiros, através de dragagem da região logo a montante da barragem, como uma opção viável e efetiva para a minimização, urgente e imediata, do aporte de sedimento ao Pantanal do Rio Pandeiros, enquanto medidas corretivas são implementadas na região de montante.

Sugerimos que seja realizada uma dragagem sempre em período seco (maio a outubro), com a finalidade de se criar uma armadilha de deposição do sedimento, sobretudo areia, no período mais intenso do transporte de sedimento, o período chuvoso, enquanto as medidas corretivas

são levadas a efeito. Considera-se uma primeira dragagem experimental de cerca de 26.000 m<sup>3</sup>, como explicado anteriormente.

Além disso, o procedimento de dragagem criará também um volume de reservação que poderá funcionar, concomitantemente, como um reservatório de armazenamento de água para suprir as futuras demandas da comunidade de Pandeiros e adjacências, considerando a significativa diminuição da vazão média mensal nos últimos anos.

O gerenciamento da dragagem da PCH, com a finalidade de se criar uma armadilha de areia para conter parte do sedimento transportado no período chuvoso, envolverá o levantamento batimétrico antes da dragagem, que deverá ser realizada antes do período chuvoso, bem como logo após este, e a comparação entre os dois levantamentos, para avaliar os quantitativos do sedimento depositado. Paralelamente a isto deverão ser mantidas as medições hidrossedimentométricas efetuadas no presente projeto, pelo menos nas estações:

- Estação P1: para o monitoramento da carga sedimentar oriunda da região da maioria das voçorocas, durante o processo de contenção das mesmas, para avaliação da sua efetividade;
- Estação P3 para quantificar o transporte de sedimento que chega ao reservatório e a porcentagem desse transporte retida na armadilha criada pela dragagem;
- Estação P5 para quantificar, ao longo do tempo, a carga de sedimentos que chega ao pantanal, provocando o seu assoreamento.

Essa quantificação é extremamente importante como meio verificador do resultado de todas as ações que forem desenvolvidas na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, avaliando a sua eficácia na minimização do transporte de sedimentos que assoreia o Pantanal Mineiro.

### **4.3. Considerações finais**

Chega-se à conclusão de que os resultados alcançados pelo Projeto FAPEMIG APQ-03773/14 – SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PANDEIROS-MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros, tendo em vista a sua abordagem espacial integral da bacia hidrográfica, com um enfoque multidisciplinar, apontam para uma nova perspectiva de sua gestão ambiental. Esta se traduz em recomendações para:

- Contenção e mitigação da erosão nas regiões críticas da bacia;
- Ampliação do conhecimento sobre a bacia e monitoramento;

- Utilizar a PCH Pandeiros nesta nova perspectiva de gestão ambiental como um valioso e essencial equipamento para auxiliar na minimização do aporte de sedimentos ao Pantanal do Rio Pandeiros e, ao mesmo tempo, atuar como um reservatório de armazenamento de água.

Ressalta-se a necessidade imediata de promover um engajamento dos diversos entes públicos nas intervenções propostas na bacia hidrográfica do Rio Pandeiros. Dentre eles, pode-se citar: as prefeituras de Bonito de Minas, Cônego Marinho e Januária, as diversas comunidades que compõem a população da bacia e as universidades e institutos da região, envolvidos nos estudos na bacia.

Dentro dessa nova perspectiva de gestão ambiental, e considerando o importante papel a ser desempenhado pela PCH Pandeiros para o manejo adequado da bacia hidrográfica, as responsabilidades futuras sobre a sua nova forma de operação deverão ser avaliadas pelas autoridades responsáveis pela gestão da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros, assim como as implicações técnicas, operacionais e legais daí decorrentes.

## ANEXOS

### **Anexo I - Publicações**

Relação de publicações de artigos em revistas indexadas, capítulos de livros e eventos científicos, incluindo as em submissão, reunindo a produção dos quatro subprojetos.

#### **Subprojeto 1a**

##### **a) Publicações em Revistas Indexadas**

AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, D. A.; FONSECA, B. M.; LIMA, A. C. P.; ARANHA, P. R. A.; BANDEIRA, J. V.; COSTA, R. D. Influências Geológicas e Geomorfológicas na Evolução da Bacia de Drenagem do Rio Pandeiros – MG, 2020a, **MG.Biota**, Número Especial (em submissão).

AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M.; OLIVEIRA, D. A.; LIMA, A. C. P.; ARANHA, P. R. A.; FRANCO, G. G. Formas de Relevo da Bacia de Drenagem do Rio Pandeiros – MG 2020b, **MG.Biota**, Número Especial (em submissão).

AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M.; OLIVEIRA, D. A.; LIMA, A. C. P.; ARANHA, P. R. A.; FRANCO, G. G. Drenagem da Bacia do Rio Pandeiros – MG: Aspectos da Dinâmica Geomorfológica. 2020c, **MG.Biota**, Número Especial (em submissão).

FONSECA, B. M.; COUTO, T. F.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; FRANCO, G. G. Variação Espaço-temporal do Uso da Terra e Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros – MG. **Natureza e Sociedade**. 2020. (Submetida)

##### **b) Capítulos de Livros**

OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M. **Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros-MG**. In: Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. Campinas: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017, p. 6253–6262. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.2520 - ISBN 978-85-85369-16-3.

SABINO, S. M. L.; MARTIN, R. M.; SANT’ANNA, E. M. E.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, D. A.; SOARES M. O. **Testagem de metodologia para confecção de lâminas palinológicas da vereda do Pantanal, APA Pandeiros, Minas Gerais**. In: O livro Geografia Física e as Mudanças Globais. PINHEIRO, L.S.; GORAYEB, A. (Org.). Fortaleza: Editora UFC, p. 989-999, 2019. ISBN: 978-85-7282-778-2.

LIMA, A. C. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, D. A. **Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: Rio Pandeiros-MG**. In: O Livro Geografia Física e as Mudanças Globais. PINHEIRO, L. de S.; GORAYEB, A. (Org.). Fortaleza: Editora UFC, p. 1-12, 2019. ISBN: 978-85-7282-778-2.

OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; LIMA, A. C. P. **Proposta preliminar de unidades hidrogeomorfológicas para o Pantanal do Rio Pandeiros – MG**. In: O livro

Geografia Física e as Mudanças Globais. PINHEIRO, L. de S.; GORAYEB, A. (Org.). Fortaleza: Editora UFC, p.1-12, 2019. ISBN: 978-85-7282-778-2.

SILVA, P. D. O.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; MOREIRA, R. M.; LIMA, A. C. P.; OLIVEIRA, D. A. <sup>7</sup>Be e técnicas nucleares aplicadas às medidas de erosão de sedimentos: análise preliminar. In: O livro Geografia Física e as Mudanças Globais. Pinheiro, L. de S.; Adryane Gorayeb (Org.). Fortaleza: Editora UFC, 2019, p.1-12. ISBN: 978-85-7282-778-2.

### c) Apresentação de Trabalhos em Eventos Científicos

OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros-MG. **XVII Simpósio Brasileiro de Geomorfologia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física Aplicada**, IGC, UNICAMP, Campinas- SP. 2017. 12 p.

SABINO, M. L. S.; MARTIN, R. M.; SANT'ANNA, E. M. E.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, D. A.; SOARES M. O. Testagem de metodologia para confecção de lâminas palinológicas da vereda do Pantanal, APA Pandeiros, Minas Gerais. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Geografia Física e Mudanças Globais, UFC, Fortaleza, CE, de 11 a 15 de junho. 2019.

LIMA, A. C. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, D. A. Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: Rio Pandeiros-MG. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Geografia Física e Mudanças Globais, UFC, Fortaleza, CE, de 11 a 15 de junho. 2019.

OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M. Proposta preliminar de unidades hidrogeomorfológicas para o Pantanal do Rio Pandeiros – MG. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Geografia Física e Mudanças Globais, UFC, Fortaleza, CE, de 11 a 15 de junho. 2019.

SILVA, P. D. O.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; MOREIRA, R. M.; LIMA, A. C. P.; OLIVEIRA, D. A. <sup>7</sup>Be e técnicas nucleares aplicadas às medidas de erosão de sedimentos: análise preliminar. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Geografia Física e Mudanças Globais, UFC, Fortaleza, CE, de 11 a 15 de junho. 2019.

## **Subprojeto 1b**

### a) Artigos completos em periódicos

1. SILVA, M. R.; MOURA, F. P.; JARDIM, C. H. O diagrama de Caixa (Box Plot) Aplicado à Análise da Distribuição Temporal das Chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, p.15-35, 2017. (Anexo 1).

2. JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. Variações dos totais de chuvas e temperatura do ar na bacia do Rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais-Brasil: articulação com fatores de diferentes níveis escalares em área de transição climática de cerrado para semiárido. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, p.168-189, 2018. (Anexo 2).

3. JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. Variação espacial e temporal das chuvas em região adjacente à bacia do Rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais-Brasil. **Revista MG-Biota**, Edição Especial Bacia do Rio Pandeiros (Não publicado; Aguardando parecer final da revista).

#### b) Artigos completos em anais de eventos científicos

4. MOURA, F. P.; JARDIM, C. H. Tendência e Variabilidade das Chuvas em Januária – MG. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica - Variabilidade e susceptibilidade climática: implicações ecossistêmicas e sociais, 2016, Goiânia. **Anais** do XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2016. v.1. p.697-707. (Anexo 3).

5. JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. Uso da Terra e Variação da Temperatura em Januária - MG. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica - Variabilidade e susceptibilidade climática: implicações ecossistêmicas e sociais, 2016, Goiânia. **Anais** do XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2016. v.1. p.744-752. (Anexo 4).

6. JARDIM, C. H.; BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J. Variabilidade das chuvas e influência do relevo na bacia do Rio Pandeiros, Januária-MG, no segmento temporal entre 2016-2019. In: Simpósio Internacional de Climatologia - VIII SIC, 2019, Belém-PA. **Anais....** São Paulo-SP: Sociedade Brasileira de Meteorologia SBMET, 2019. v. 1. p. 1-10. (Anexo 5).

7. JARDIM, C. H. Unidades climáticas na bacia do Rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais: proposta inicial. (Não incluso). O artigo foi aprovado no XX ENG – Encontro Nacional de Geógrafos. No entanto, em função da pandemia, o evento foi transferido para julho de 2021.

#### c) Capítulos de livros

8. MOURA, F. P.; JARDIM, C. H. Variação temporal das chuvas no norte de Minas Gerais: eixo Arinos, Januária e Salinas. In: Archimedes Perez Filho; Raul Reis Amorim. (Org.). **Os desafios de Geografia Física na fronteira do conhecimento**. 1ed. Campinas-SP: Instituto de Geociências-UNICAMP, 2017, v.1, p. 2603-2607. Referências adicionais: ISBN: 9788585369163; Home page: <<http://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/issue/view/75/showToc>> (Anexo 6).

9. MOURA, F. P.; JARDIM, C. H. Variação temporal das chuvas em Januária, Carinhanha e Montes Claros, norte do estado de Minas Gerais. In: Archimedes Perez Filho; Raul Reis Amorim. (Org.). **Os desafios de Geografia Física na fronteira do conhecimento**. 1ed. Campinas-SP: Instituto de Geociências-UNICAMP, 2017, v.1, p. 2705-2709. Referências adicionais: ISBN: 9788585369163, Home page: <<http://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/issue/view/75/showToc>> (Anexo 7).

10. JARDIM, C. H. Uso da terra e variações da temperatura e umidade relativa do ar no baixo vale do Rio Pandeiros, Januária-mg. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. 1ed. Fortaleza-CE: UFC, 2019, v. 1, p. 1060-1070. (Anexo 8).

11. JARDIM, C. H.; MOURA, F. P.; BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J. Variabilidade das chuvas na bacia do Rio Pandeiros, Januária-MG: o período de 2008-2018. In:

PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. 1ed. Fortaleza-CE: UFC, 2019, v. 1, p. 1416-1427. (Anexo 9).

#### **d) Resumos expandidos em anais de eventos científicos**

12. JARDIM, C. H.; MOURA, F. P.; COSTA, A. M. A temperatura do ar como indicador de alteração ambiental: bacia do Rio Pandeiros, Januária-MG. In: **VI Workshop Internacional Sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável de Bacias Hidrográficas**, Uberlândia-MG, 2017. (Anexo 10).

13. JARDIM, C. H. Uso do solo e variações da temperatura do ar no baixo vale do Rio Pandeiros, Januária-MG. In: V Fórum Brasileiro de Áreas Degradadas, 2018, Viçosa-MG. **Anais do V Fórum Brasileiro de Áreas Degradadas**. Viçosa-MG: Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável, 2018. v. 1. p. 228-232. (Anexo 11).

14. JARDIM, C. H. Variabilidade das chuvas e impactos ambientais em Januária e Chapada Gaúcha, norte do estado de Minas Gerais. In: V Fórum Brasileiro de Áreas Degradadas, 2018, Viçosa-MG. **Anais do V Fórum Brasileiro de Áreas Degradadas**. Viçosa-MG: Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável, 2018. v. 1. p. 247-251. (Anexo 12).

#### **e) Resumos simples em anais de eventos científicos**

15. JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. Classificação das chuvas em Montes Claros, Arinos, Salinas (Mg) E Carinhanha (Ba) utilizando o Diagrama de Caixa Box Plot In: VII Simpósio Internacional de Climatologia (VII SIC): Clima, Variabilidade e Perspectivas Futuras, 2017, Petrópolis-RJ. **Anais.... Rio de Janeiro-RJ: SBMET, 2017. v.1. p.92 – 92.** (Anexo 13).

16. JARDIM, C. H.; COSTA, A. M.; SAMPAIO, J. L. D.; MOURA, F. P.; VIANA, J. H. M. Influência da vegetação nas variações de temperatura do ar na bacia do Rio Pandeiros, Januária - MG In: VII Simpósio Internacional de Climatologia (VII SIC): Clima, Variabilidade e Perspectivas Futuras, 2017, Petrópolis-RJ. **Anais.... Rio de Janeiro-RJ: SBMET, 2017. v.1. p.90 – 90.** (Anexo 14).

17. JARDIM, C. H.; BANDEIRA, J. V; SALIM, L. H; CHAGAS, C. J. Variação local das chuvas na bacia hidrográfica do Rio Pandeiros, Januária-MG In: VII Simpósio Internacional de Climatologia (VII SIC): Clima, Variabilidade e Perspectivas Futuras, 2017, Petrópolis-RJ. **Anais.... Rio de Janeiro-RJ: SBMET, 2017. v.1. p.91 – 91.** (Anexo 15).

### **Subprojeto 1c**

#### **a) Apresentação de Trabalhos em Eventos Científicos**

CARVALHO, D. C. F.; COSTA, A. M.; VIANA, J. H. M.; SAMPAIO, J. L. D.; JARDIM, C. H. **Caracterização Física e Química dos Solos de Voçorocas na Porção Norte da Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, Minas Gerais**, In: IV Simpósio Mineiro de Ciência Do Solo IV e Simpósio Mineiro de Ciência Do Solo, Viçosa, 2017.

COSTA, A. M.; HORTA, I. D. M. F.; SALIS, H. H. C.; VIANA, J. H. M. **Zoneamento do Potencial do Uso Conservacionista como Alternativa às Unidades de Paisagem para a**

**Confecção do ZAP**, In: Workshop Internacional Sobre Planejamento E Desenvolvimento Sustentável De Bacias Hidrográficas, Uberlândia, 2017.

COSTA, A. M.; RIBEIRO, A. H. N.; MOURA, M. S.; MOTA, P. K.; ARAÚJO, B. J. R. S. **Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) na Gestão da Bacia do Rio Pandeiros, MG**, In: II Workshop Internacional de Política de Uso e Governança de Solo, Piracicaba, 2019.

COSTA, A. M.; SALIS, H. H. C.; CARVALHO, D. C. F.; RIBEIRO, A. H. N.; FERREIRA, J. M. L.; VIANA, J. H. M. **Indicadores para Avaliação da Sustentabilidade: ZAP e ISA**, In Sustentabilidade No Agronegócio, Manole. Barueri, 2018. Aceito para publicação.

COSTA, A. M.; VIANA, J. H. M.; CARVALHO, D. C. F.; SAMPAIO, J. L. D.; JARDIM, C. H. **Fertilidade de Solos e de Sedimentos da Bacia Do Rio Pandeiros - MG**, In: XXXVI Congresso Brasileiro de Ciências Do Solo, Belém, 2017.

TENENWURCEL, M. A.; MOURA, M. S.; COSTA, A. M.; MOTA, P. K.; VIANA, J. H. M.; FERNANDES, L. F. S.; PACHECO, F. A. L. **An Improved Model for the Evaluation of Groundwater Recharge Based on the Concept of Conservative Use Potential: A Study in the River Pandeiros Watershed, Minas Gerais, Brazil**, Water, 12 (4), 2020.

VIANA, J. H. M.; COSTA, A. M.; CARVALHO, D. C. F.; SAMPAIO, J. L. D.; JARDIM, C. H. **Análise Granulométrica e Fracionamento de Areias de Solos e de Sedimentos Da Bacia Do Rio Pandeiros, Norte de Minas Gerais**. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Ciências Do Solo, Belém, 2017.

## **Subprojeto 2**

### **a) Publicações em Revistas Indexadas**

CHAGAS, C. J.; BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CAMARGOS, C. C.; FRANÇA, G. P.; SÁ, L. P. Avaliação da Carga Sedimentar entre os Anos de 2016 e 2019 no Rio Pandeiros, Januária, MG e sua Influência na Preservação Ambiental da Bacia Hidrográfica. MG, 2020. **MG Biota**, Número Especial (Em submissão).

### **b) Apresentação de Trabalhos em Eventos Científicos**

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CAMARGOS, C. C.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; JARDIM, C. H.; ARANHA, P. R. A.; COSTA, A. M.; SÁ, L. P.; FRANÇA, G. P. **Estudos Hidrossedimentológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, MG, em um Contexto Multidisciplinar**, XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos I Partículas nas Américas. Anais...Vitória: ABRHidro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018.

REIS, P. P.; CHAGAS, C. J.; BANDEIRA, J. V. **Estações Hidrossedimentométricas na bacia do Rio Pandeiros-MG**, resumo, VII Simpósio de Ciências Agrárias do Norte de Minas Gerais (VII SCIAGRO), Januária, 2018.

REIS, P. P.; BANDEIRA, J. V.; CHAGAS, C. J. **Providências para inserção dos dados das estações hidrossedimentométricas do Rio Pandeiros - MG no portal Hidroweb..XIII Seminário Anual de Iniciação Científica do CDTN – SIAC, 2018.**

FRANÇA, G. P.; SÁ, L. P.; CHAGAS, C. J.; MOREIRA, R. M.; SALIM, L. H.; BANDEIRA, J. V. **Técnica de Análise Granulométrica Utilizada em Sedimentos do Rio Pandeiros, Januária, MG**”, Seminário de Iniciação Científica – SIC, Instituto Federal Norte de Minas Gerais, campus Araçuaí, 2018.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CAMARGOS, C. C.; FRANÇA, G. P.; SÁ, L. P. **Aspectos Hidráulicos e o Transporte de Sedimentos ao Longo do Rio Pandeiros, MG, até o Pantanal Mineiro, Junto à sua Foz.** XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, ABRHidro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Campinas, SP, 22 a 25 de novembro, 2020 (aceito para apresentação).

## **Anexo II – Produção Acadêmica**

Relação de teses, dissertações, T.C.C., etc., já concluídos e os em andamento, abrangendo os quatro subprojetos.

### **Subprojeto 1a**

OLIVEIRA, D. A. **“Wetland” como unidade hidrogeomorfológica no contexto de uma região semiárida: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do Rio Pandeiros – MG.** Exame de Qualificação de Doutorado. 2018. 163p. Programa de Pós-Graduação de Geografia. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG.

OLIVEIRA, D. A. **Wetland como unidade hidrogeomorfológica no contexto de transição entre o cerrado e o semiárido brasileiro: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do Rio Pandeiros – MG.** Tese de doutorado. 2019. 341p. Programa de Pós-Graduação de Geografia. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. (Defendida).

LIMA, A. C. P. **Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas: bacia do Rio Pandeiros-MG.** Qualificação de Mestrado. 2018. 80p. Programa de Pós-Graduação de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

LIMA, A. C. P. **Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas: bacia do Rio Pandeiros-MG.** Dissertação de Mestrado. 2019. 83p. Programa de Pós-Graduação de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. (Defendida).

SILVA, P. D. O. **Utilização do isótopo  $^7\text{Be}$  como método de investigação da erosão em escala de vertentes.** Qualificação de Mestrado. 2019. 58p. Programa de Pós-Graduação de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

SILVA, P. D. O. **Utilização do isótopo  $^7\text{Be}$  como método de investigação da erosão em escala de vertentes.** Dissertação de Mestrado. 2020. 87p. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. (Defendida).

CARVALHO, D. C. F. **Dinâmica do processo de deposição fluvial no Pantanal Mineiro – Rio Pandeiros (MG).** Trabalho de Conclusão I (TCC I) do Curso de Geografia. 2016. 22p. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Defendida).

CARVALHO, D. C. F. **Caracterização de perfis de sedimentação fluvial no Pantanal Mineiro – Rio Pandeiros (MG).** Trabalho de Conclusão II (TCC II) Bacharelado do Curso de Geografia. 2017. 50p. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. (Defendida).

### **Subprojeto 1b**

MOURA, F. P. **Dinâmica das chuvas no norte de Minas Gerais.** Monografia (Conclusão de Curso de Graduação), Departamento de Geografia - IGC – UFMG. Orientador: Prof. Carlos Henrique Jardim. Belo Horizonte, 2017.

MOURA, F. P. **Variabilidade espacial e temporal das chuvas na região do Rio Pandeiros;** Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da UFMG, Linha de Pesquisa: Análise Ambiental. Orientador: Prof. Carlos Henrique Jardim. Previsão de término no segundo semestre de 2020.

### **Subprojeto 2**

FRANÇA, G. P. **Contribuição de Sedimentos para Área do Pântano na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao IFNMG – *Campus* Januária do Programa de Graduação em Engenharia Agrícola Ambiental. 2019.

CHAGAS, C. J. **A influência da carga sedimentar na modelagem de pântano do Rio Pandeiros, formado em área tropical semiúmida.** Projeto de doutorado em Técnicas Nucleares na Indústria e Meio Ambiente, em andamento. Pós-graduação do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. Previsão de término em 2022.

### **Anexo III – Transferência de tecnologia**

Conforme proposta de projeto encaminhada para o edital 13/2014 previu-se no item que trata dos objetivos gerais a:

*formação e desenvolvimento de recursos humanos com capacidade técnica e científica para lidar com problemas de impactos ambientais e sua contenção no estado de Minas Gerais, o que inclui a transferência de tecnologia de análises de campo e laboratório para os alunos do Instituto de Geociências da UFMG, e do Instituto Federal do Norte de Minas (IFNMG), Januária-MG, aonde será realizada a maior parte das análises de sedimentos.*

A capacitação técnica contou com a participação direta e indireta de toda equipe do projeto, de colaboradores internacionais, de bolsistas e aconteceu de forma diversa desde o início dos trabalhos, através de bolsas de iniciação científica, aulas no campo para os graduandos do IFNMG, reuniões com a comunidade local, seminários, workshop, palestras e minicursos, como segue:

01/06/2016 – Participação no WORKSHOP SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PANDEIROS em Januária, promovido pela Comissão Pandeiros em parceria com Ministério Público/MG, FAPEMIG, CEMIG e IEF. Participantes: Dr. Jefferson Vianna Bandeira (palestra como Coordenador Geral do Projeto) – CDTN; MSc. Cláudio José Chagas (subprojeto 2); Dr. Diego Alves de Oliveira (palestra como representante do subprojeto 1a – IGC; Prof. Dr. Carlos Jardim (palestra como coordenador do subprojeto 1b e 1c) – IGC.

20/09/2016 – Participação no I Fórum de Pesquisa e Extensão em Ciências Agrárias, no IFNMG – Campus Januária, quando o coordenador Dr. Jefferson Bandeira proferiu palestra sobre os Aspectos Hidráulicos e Sedimentológicos do Projeto.

07/07/2017 – Aula de campo, no rio Catolé, no município de Bonito de Minas sobre Hidrometria e Sedimentometria. As aulas contaram com esclarecimentos sobre algumas variáveis no campo da Hidrologia e puderam ser testadas com a prática no corpo hídrico local. Ministrada por Cláudio José Chagas, auxiliado por Robson Lage, Dovenir Francisco e Elenísio Fonseca – CDTN.

Essa aula foi publicada no site do Instituto Federal do Norte de Minas, campus Januária, como segue na íntegra:

*Acadêmicos do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental aprendem na prática a medição de vazão e quantificação de sedimentos em rios*

*Publicado: Quinta, 13 de Julho de 2017.*



*No dia 07 de julho, os acadêmicos do 7º e 9º períodos do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental do IFNMG Campus Januária, acompanhados pelo professor Danilo Ribeiro, foram ao rio Catolé onde tiveram a oportunidade de aprender, na prática, a medição de vazão e quantificação de sedimentos em rios por métodos de alta precisão.*

*A prática foi realizada com auxílio da equipe do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) de Belo Horizonte, que levaram vários equipamentos utilizados por eles no projeto “SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PANDEIROS – MG: DINÂMICA DE VERTENTES DA BACIA DO RIO PANDEIROS” que estão desenvolvendo na Bacia do Rio Pandeiros, com recursos provenientes do Edital n. 13 de 2014 da FAPEMIG/Pandeiros. O Projeto é coordenado pelo pesquisador do CDTN Dr. Jefferson Vianna Bandeira e tem o IFNMG Campus Januária como parceiro.*



*Inicialmente, o pesquisador Cláudio José Chagas, da equipe do CDTN apresentou o projeto aos estudantes e os equipamentos utilizados para medição da vazão e de sedimentos, posteriormente todos foram ao rio e puderam aprender como utilizar os equipamentos durante a medição da vazão e coleta de sedimentos do rio Catolé, um dos principais afluentes do Rio Pandeiros. Para medição da vazão foram utilizados o molinete e o FlowTracker e a quantificação de sedimentos feita por equipamentos que determinam os sólidos em suspensão e os sólidos arrastados no fundo do rio.*



*Assim, a prática foi de encontro com os conhecimentos adquiridos nas disciplinas do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental e proporcionou interação entre os discentes e profissionais da área ambiental que integram a equipe do CDTN.*

18 a 21/09/2018 – Participação no VII Simpósio de Ciências Agrárias do Norte de Minas Gerais (VII SCIAGRO) que é um evento tradicional promovido pelo IFNMG no campus de Januária, cujo tema proposto para 2018 foi: **Norte de Minas Gerais: conservando água em ambiente de mudanças**. Em parceria com o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e o Instituto de Geociências (IGC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), o evento apresentou resultados das pesquisas realizadas por estas instituições na Bacia do Rio Pandeiros, com discussões e sugestões de usos do solo que favoreçam a sustentabilidade da agricultura e pecuária na região. Considerando a escassez hídrica crescente e os problemas de erosão no solo, essas discussões ocorreram na forma de palestras e minicursos.

#### Participantes do VII SCIAGRO



Fonte: acervo do IFNMG

O objetivo do simpósio foi o de promover a disseminação do conhecimento na área de ciências agrárias para acadêmicos, professores, pesquisadores, profissionais da área e produtores rurais da região do semiárido mineiro.

Sendo assim, nossa participação ocorreu em forma de palestras e minicursos ministrados nas dependências do IFNMG durante os quatro dias, cujos temas foram:

## Palestras

- A origem do aporte de sedimentos no Pantanal Mineiro: MSc Cláudio José Chagas – CDTN.
- Estudos hidroquímicos e isotópicos nas bacias dos rios Pandeiros e Peruaçu: MSc Vinícius Gonçalves Ferreira – CDTN
- O uso do radônio como traçador para identificação da descarga de aquíferos: MSc Cláudio José Chagas – CDTN.
- Análise Espacial como ferramenta de gestão de recursos hídricos: Prof. Dr. Paulo César Horta Rodrigues – CDTN.
- Evolução e principais características geomorfológicas da bacia do Rio Pandeiros: Profa. Dra. Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin (IGC).
- Uso de radionucleídeos naturais y artificiales para evaluar la redistribución de suelo: Alexander Dario Esquivel López – Universidad Tecnológica de Panamá, UTP.

## Minicursos

- Isótopos estáveis em hidrologia e estudos ambientais: Prof. Dr. Rubens Martins Moreira e Dra. Elizângela Santos – CDTN.
- Noções de Hidroquímica e Qualidade das Águas: Prof. Dr. Carlos Alberto de Carvalho Filho e MSc Vinícius Gonçalves Ferreira – CDTN.
- Técnicas de levantamento e análise de dados em Climatologia: Felipe P. Moura – IGC.
- Geomorfologia da bacia do Rio Pandeiros: Base proposta de desenvolvimento sustentável: Profa. Dra. Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin – IGC.
- Estudos hidrométricos e sedimentométricos em bacias hidrográficas: Estudo de caso do Rio Pandeiros, MG: Dr. Jefferson Vianna Bandeira.
- Processos erosivos acelerados e ocorrência de voçorocas: MSc Arnon Costa Pereira de Lima – IGC.
- Solos arenosos, classificação, características e perspectivas de uso: estudo de caso da bacia do Rio Pandeiros: Dr. João Herbert Moreira Viana – EMBRAPA.

Além das palestras e minicursos houve participação na sessão poster com o trabalho: Estações Hidrossedimentométricas na Bacia do Rio Pandeiros. Patrícia Pós dos Reis (bolsista de IC) e Dr. Jefferson Vianna Bandeira (orientador) – CDTN.



Fonte: <https://www.ifnmg.edu.br/noticias-jan/noticias-2018/19377-vii-sciagro-foi-realizado-com-entusiasmo-pela-comunidade-academica-do-ifnmg-campus-januaria>

**03/05/2019** – segunda aula de campo ministrada por MSc. Cláudio José Chagas (CDTN) para os alunos do IFNMG, ocorrida no mesmo local, rio Catolé, e teve ênfase na medição de vazão. Ministrada por Cláudio José Chagas, auxiliado por Robson Lage e Dovenir Francisco – CDTN.

**27/08/2019** – Apresentação do estado da arte na reunião do Conselho Consultivo do Refúgio Estadual de Vida Silvestre do Rio Pandeiros, da Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros, da Área de Proteção Ambiental Cochá Gibão e do Parque Estadual Veredas do Peruaçu, em Januária, MG, com a apresentação dos resultados preliminares sobre os impactos ambientais da bacia pelo Coordenador Geral do Projeto, Dr. Jefferson Vianna Bandeira e pela coordenadora do Subprojeto 1a: Dra. Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin, com a participação do MSc. Claudio José Chagas, do Subprojeto 2 – CDTN e de Gabriel Pires de França – IFNMG.